

UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA
ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE ENXEÑARÍA



Escola Técnica
Superior de
Enxeñaría

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE
 γ -BUTIROLACTONA

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Química

Fernando José Rodríguez Piñón

Febrero 2019

ÍNDICE GENERAL

1. DOCUMENTO I. MEMORIA

- 1.1. Anexo I. Balances de materia y energía**
- 1.2. Anexo II. Cálculos justificativos**
- 1.3. Anexo III. Fichas de seguridad**
- 1.4. Anexo IV. Estudios con entidad propia**

2. DOCUMENTO II. PLANOS

3. DOCUMENTO III. PLIEGO DE CONDICIONES

4. DOCUMENTO IV. PRESUPUESTO

DOCUMENTO I
MEMORIA

ÍNDICE

1.	Objeto.....	1
2.	Alcance	2
3.	Justificación del proyecto	3
4.	Legislación y normativa de aplicación.....	4
4.1.	Marco normativo.....	4
4.2.	Marco legislativo	4
4.3.	Códigos de diseño generales.....	9
4.4.	Códigos de diseño específicos.....	9
4.5.	Programas de cálculo	9
5.	Estudio y análisis de alternativas	10
5.1.	Procesos industriales.....	10
5.2.	Análisis de procesos en desarrollo	13
5.3.	Elección del proceso.....	15
6.	Descripción del proceso	17
6.1.	Descripción de la instalación	17
6.2.	Descripción detallada del proceso	19
7.	Materias	21
7.1.	Detalles del producto: γ -Butirolactona	21
7.2.	Materias primas	25
8.	Emplazamiento	32
8.1.	Requisitos	32
8.2.	Estudio de la localización	32
8.3.	Polígono industrial	35
8.4.	Selección de parcela.....	36
8.5.	Meteorología del lugar.....	37
8.6.	Sismicidad.....	38
9.	Estudio de mercado.....	40
9.1.	Mercado de las principales aplicaciones de GBL.....	41
9.2.	El mercado de GBL en España	44
10.	Control e instrumentación.....	46
10.1.	Funciones de un sistema de control	46
10.2.	Aspectos de diseño de un sistema de control.....	46
10.3.	Elementos y simbología de un sistema de control.....	51
10.4.	Descripción de los sistemas de control de la planta	53

11.	Estudio de viabilidad técnica	65
11.1.	Disponibilidad de la tecnología seleccionada	65
11.2.	Disponibilidad de recursos	65
11.3.	Disponibilidad de utilidades	66
11.4.	Disponibilidad de espacio en el terreno.....	66
11.5.	Capacidad productiva y requisitos del producto	67
11.6.	Seguridad del proceso.....	67
12.	Estudio de viabilidad económica	68
12.1.	Inversión inicial del proyecto, préstamo e interés.....	68
12.2.	Flujos de caja	69
12.3.	Valor actual neto (VAN).....	74
12.4.	Tasa interna de retorno (TIR)	74
12.5.	Período de retorno de la inversión inicial (payback).....	74
12.6.	Análisis de sensibilidad.....	75
13.	Estudio de seguridad en diseño y operación	77
13.1.	Clasificación de la instalación según CLP y la Directiva Seveso.....	77
13.2.	Estudio de reactividad química descontrolada	79
13.3.	Índice DOW de incendio y explosión.....	83
13.4.	Distancias de seguridad.....	87
13.5.	Dimensionamiento de las válvulas de alivio	89
13.6.	Estudio HAZID.....	89
14.	Referencias	92

1. Objeto

El objeto de este proyecto es el diseño de una planta de producción de γ -butirolactona de elevada pureza con una capacidad de producción de 15.000 t/año.

El producto se obtiene mediante un proceso novedoso y de bajo impacto ambiental que combina la hidrogenación del anhídrido maleico y la deshidrogenación de 1,4-butanodiol en un lecho catalítico de Cu/Zn/Al, logrando una mayor eficacia energética que los procesos convencionales.

Además, con la realización de este Trabajo de Fin de Grado, el alumno Fernando José Rodríguez Piñón opta al título de Graduado en Ingeniería Química por la Universidad de Santiago de Compostela.

2. Alcance

Los objetivos principales del presente documento son los siguientes:

- Seleccionar el **proceso productivo** de la planta, indicando los elementos y equipos necesarios, así como las condiciones de operación óptimas.
- Comprobar la **viabilidad** técnica, económica, de seguridad y medioambiental del proceso.
- Elegir una **ubicación** adecuada de la planta, definiendo el terreno escogido teniendo en cuenta criterios de costes, accesibilidad, seguridad y medioambiente.
- **Diseñar** los principales equipos y elementos del proceso, ateniéndose a criterios hidráulicos, térmicos y mecánicos.

Como objetivos secundarios, se establece:

- **Optimizar** las variables y parámetros en el diseño de los equipos, de manera que se minimicen costes en el proceso y se obtengan, por tanto, mayores beneficios.
- Demostrar la **viabilidad de procesos productivos alternativos** que reduzcan de manera significativa el impacto negativo al medio de los procesos empleados actualmente, y fomentar la **investigación y exploración** de este tipo de alternativas.

3. Justificación del proyecto

La elección de este proyecto viene motivada por tratar de ofrecer una alternativa a escala industrial más eficiente y con menor impacto ambiental ante los procesos actuales de producción de γ -butirolactona, compuesto cuyo interés ha aumentado significativamente en los últimos años.

Una de las razones principales es su empleo como sustituto de los disolventes clorados, que cada vez son menos utilizados en aplicaciones industriales por su elevada emisión de COVs a la atmósfera. Según la directiva 2010/75/UE del parlamento europeo, las emisiones de contaminantes atmosféricos no deben sobrepasar unos límites establecidos, lo que conlleva el incremento en coste de las tratadas de emisiones en las plantas químicas actuales. Por tanto, la utilización de productos “verdes”, o favorables al medio ambiente, provoca no sólo un gran paso ante un desarrollo sostenible, sino que disminuye los costes asociados al tratamiento de efluentes.

Otra de las razones es su versatilidad como agente químico, pues puede emplearse en multitud de aplicaciones: desde intermediario en la producción de compuestos químicos de elevada demanda como las pirrolidonas, hasta su inclusión como electrolito en las baterías de Li-ion de aparatos electrónicos y coches eléctricos, cuya expansión y desarrollo incrementa progresivamente.

Por los motivos mencionados anteriormente, las plantas químicas de producción de γ -butirolactona están aumentando de capacidad de forma progresiva, aunque manteniendo los mismos procesos productivos. Ello implica unas condiciones elevadas de operación, que requieren de materiales y sistemas de seguridad específicos; alto coste de operación, por el empleo de refrigerante o fluido calefactor en el sistema reactivo; o bien el uso de grandes cantidades de hidrógeno puro, cuya fuente proviene mayoritariamente de la combustión de carbón o gas natural y que dan como resultado la emisión de gases de efecto invernadero y compuestos de sulfuro, afectando negativamente al medio ambiente.

El proceso de producción industrial de γ -butirolactona propuesto en este trabajo elimina en gran medida dicho requerimiento de hidrógeno y opera bajo unas condiciones más seguras, proporcionando un proceso alternativo, novedoso, con menor impacto ambiental e incluso más eficiente energéticamente que los procesos convencionales actuales.

4. Legislación y normativa de aplicación

En este apartado se hace referencia a la legislación y normas aplicables a la planta de producción de γ -butirolactona en materia de construcción, de medioambiente y de seguridad industrial e higiene.

4.1. Marco normativo

4.1.1. Normas e Instrucciones Técnicas de Construcción

- Código Técnico de Edificación (CTE), aprobado por el Real Decreto 314/2006 del 17 marzo.

4.1.2. Normas de electricidad

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) e Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) aprobado por el Real Decreto 842/2002 del 2 de agosto.

4.1.3. Normas de seguridad y salud

- Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas (RAMINP) aprobado por el Decreto 2414/1961 del 30 de noviembre.
- Estudio Básico de Seguridad y Salud en las Obras de Construcción (EBS) aprobado por el Real Decreto 1627/1997 del 24 de octubre.

4.1.4. Normas UNE-EN-ISO:

- Norma UNE-EN ISO 14001: Normativa internacional que establece un Sistema de Gestión Ambiental.
- Norma UNE-EN ISO 9001: Normativa internacional que establece un Sistema de Gestión de Calidad.
- Norma OHSAS 18001: Normativa internacional que establece los requisitos mínimos de las mejores prácticas en gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.

4.2. Marco legislativo

4.2.1. Legislación aplicable en la construcción

- Ley 38/1999, del 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE), por la que se regula el proceso de edificación, se fijan las funciones y responsabilidades de los agentes y se establece un sistema de garantías para los usuarios.

- Real Decreto 1627/1997, del 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
 - La resolución del 8 de abril de 1999, de la Secretaría de Estado de Aguas y Costas, sobre Delegación de Facultades en Materia de Seguridad y Salud en las Obras de Construcción, complementa el art. 18 sobre Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en las Obras de Construcción.
 - El Real Decreto 604/2006, del 19 de mayo, modifica los artículos 1, 2, 7, 16, 19 a 21, 29 a 32, 35 y 36 y añade el 22 bis, 31 bis, 33 bis y las disposiciones adicionales 10, 11 y 12.

4.2.2. Legislación aplicable a la electricidad

- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el reglamento electrotécnico para baja tensión.

4.2.3. Legislación aplicable a seguridad e higiene

4.2.3.1. Generales

- Real Decreto Legislativo 2/2015, de 23 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Estatuto de Trabajadores.

4.2.3.2. Prevención

- Ley 31/1995 del 8 de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales
- Real Decreto 39/1997, del 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
 - Modificado por el Real Decreto 899/2015, de 9 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.

4.2.3.3. Seguridad y salud

- Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.
- Real Decreto 1879/1996, de 2 de agosto, por el que se regula la composición de la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorso lumbares, para los trabajadores.
- Real Decreto 488/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas
 - Modificado por el Real Decreto 330/2009, de 13 de marzo.
- Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

4.2.3.4. Higiene

- Real Decreto 577/1982, de 17 de marzo, por el que se regulan la estructura y competencias del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Orden de 9 de marzo de 1971 por la que se aprueba la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
 - Modificada por el Real Decreto 486/1997, del 14 de abril, en los capítulos I a V y VII.

4.2.4. Legislación aplicable al medioambiente

4.2.4.1. Impacto ambiental

- Ley 6/2010, de 24 de marzo, de modificación del texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero.
- Reglamento (CE) 166/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de enero de 2006, relativo al establecimiento de un registro europeo de emisiones y transferencias de contaminantes y por el que se modifican las Directivas 91/689/CEE y 96/61/CE del Consejo
- Directiva 97/11/CE del Consejo, de 3 de marzo de 1997, por la que se modifica la Directiva 85/337/CEE relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.
- Directiva 2014/52/UE del parlamento europeo y del consejo, de 16 de abril de 2014, por la que se modifica la Directiva 2011/92/UE, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.
- Decreto 94/2003, de 8 de abril, por el que se modifican puntualmente los anexos del Decreto 292/1995, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental de la Comunidad Autónoma de Andalucía y del Decreto 153/1996, de 30 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Informe Ambiental.
- Decisión del Consejo 2008/871/CE, de 20 de octubre de 2008, relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo sobre evaluación estratégica del medio ambiente de la Convención de Espoo de 1991 de la CEPE/ONU sobre la evaluación del impacto ambiental en un contexto transfronterizo.
- Real Decreto Legislativo 1/2016, de 16 de diciembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación.

4.2.4.2. Emisiones atmosféricas

- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
- Real Decreto-ley 5/2004, de 27 de agosto, por el que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.
- Real Decreto 117/2003, de 31 de enero, sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades.

- Real Decreto 773/2017, de 28 de julio, por el que se modifican diversos reales decretos en materia de productos y emisiones industriales.
- Real Decreto 508/2007, de 20 de abril, por el que se regula el suministro de información sobre emisiones del Reglamento E-PRTR y de las autorizaciones ambientales integradas.
- Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación).

4.2.4.3. Tratamiento de aguas

- Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.
- Real Decreto 1290/2012, de 7 de septiembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, y el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

4.2.4.4. Gestión de residuos

- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- Real Decreto 180/2015, de 13 de marzo, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado.
- Decisión de la Comisión, de 3 de mayo de 2000, que sustituye a la Decisión 94/3/CE por la que se establece una lista de residuos de conformidad con la letra a) del artículo 1 de la Directiva 75/442/CEE del Consejo relativa a los residuos y a la Decisión 94/904/CE del Consejo por la que se establece una lista de residuos peligrosos en virtud del apartado 4 del artículo 1 de la Directiva 91/689/CEE del Consejo relativa a los residuos peligrosos.

- Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos.

4.2.4.5. Contaminación acústica

- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental - Declaración de la Comisión ante el Comité de Conciliación de la Directiva sobre evaluación y gestión del ruido ambiental

4.3. Códigos de diseño generales

- U.N.E. (Una Norma Española)
- A.S.M.E. (American Society of Mechanical Engineers)
- T.E.M.A. (American Tubular Exchanger Manufacturers Association)
- DIN (Deutsches Institut für Normung)
- BS (British Standards)

4.4. Códigos de diseño específicos

- UNE 157001:2014, en la elaboración de los documentos que conforman el presente proyecto.
- ISO 690:2010, para la elaboración de las referencias bibliográficas.

4.5. Programas de cálculo

- El programa de cálculo principal para realizar las operaciones matemáticas, figuras y tablas de elaboración propia de este proyecto es la hoja de cálculo Microsoft Excel®.
- Para la realización de los planos del Documento II. Planos, se utiliza el programa AutoDesk AutoCAD® 2018.
- El simulador Aspen Hysys® V9 se emplea como herramienta de apoyo para corroborar los cálculos y como base de datos de las propiedades termodinámicas de los compuestos químicos que no se encuentran por búsqueda bibliografía.

5. Estudio y análisis de alternativas

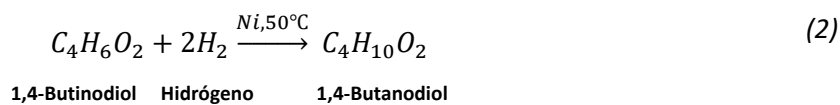
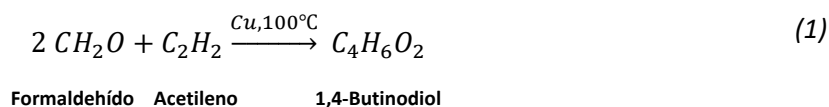
5.1. Procesos industriales

En este apartado se detallan los principales procesos industriales empleados en la actualidad para la producción de γ -butirolactona, con sus ventajas e inconvenientes.

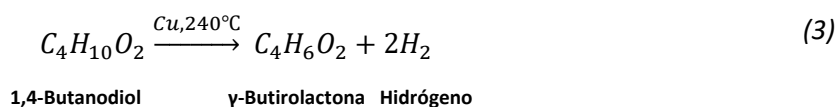
5.1.1. Proceso Reppe

El proceso Reppe (1) es uno de los procesos químicos principales en la obtención de 1,4-butanodiol en Europa, y existen plantas químicas en las que se destina parte del 1,4-butanodiol producido para la obtención de productos derivados del mismo, entre los que se incluye la γ -butirolactona. Es el método utilizado por las compañías BASF y Lyondell-Basell, entre otras.

El 1,4-butanodiol se sintetiza a partir de la hidrogenación del 1,4-butanodiol, obtenido de la reacción catalítica de formaldehído y acetileno. Las reacciones químicas que tienen lugar son:



El proceso para obtener γ -butirolactona consiste en la deshidrogenación endotérmica y catalítica del 1,4-butanodiol en fase gas, empleando para ello un reactor catalítico sometido a una fuente externa de calor. La reacción química es:



La conversión del 1,4-butanodiol y selectividad son elevadas, en torno al 93% ambas, y son dependientes de tres factores: el catalizador empleado, la temperatura de operación y la relación de hidrógeno/1,4-butanodiol de la mezcla de entrada al reactor.

Como norma general, la temperatura óptima se sitúa entre los 190 °C y 250 °C, la presión óptima entre 0,3 y 10 bar, y la relación óptima de hidrógeno/1,4-butanodiol entre 100 y 150 mol/mol.

Un esquema del proceso de obtención de γ -butirolactona se representa en la figura 1. El 1,4-butanodiol se calienta y se lleva a un evaporador, donde se mezcla con el gas hidrógeno recirculado. La corriente resultante se calienta hasta la temperatura de reacción y tiene lugar la reacción química en el reactor catalítico. El fluido calefactor, generalmente un aceite térmico, mantiene la temperatura en el interior del mismo.

La γ -butirolactona, el hidrógeno y el 1,4-butanodiol que no reacciona se enfrían posteriormente en un intercambiador de calor, produciéndose el condensado de la mezcla orgánica.

Empleando un separador gas-líquido, se logra la separación: por colas sale la mezcla orgánica líquida, consistente principalmente de γ -butirolactona, y por cabezas la corriente de hidrógeno, donde se purga parte de la misma ya que se ha generado un exceso por la reacción química. La fracción no purgada, se lleva a un sistema de reciclaje de hidrógeno, para ser recirculado y mezclado posteriormente con la corriente de entrada de 1,4-butanodiol, cerrando el proceso.

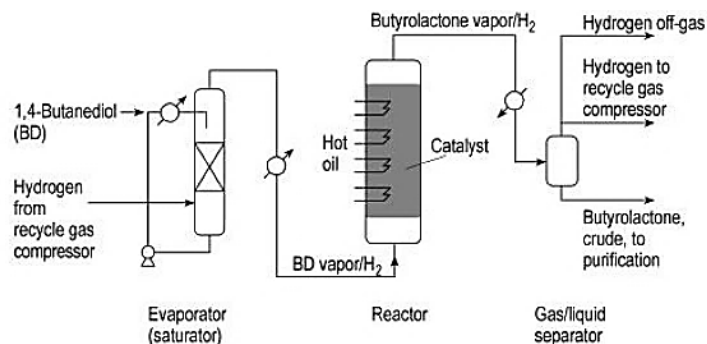


Figura 1. Producción de γ -butirolactona por deshidrogenación de 1-4-butanodiol. (Fuente: (1))

La ventaja principal que presenta este proceso es la nula necesidad de una fuente de hidrógeno puro como alimentación, disminuyendo el coste de operación y el impacto ambiental indirecto de la obtención de hidrógeno. Además, se obtiene una conversión y selectividad elevadas y un producto de gran pureza.

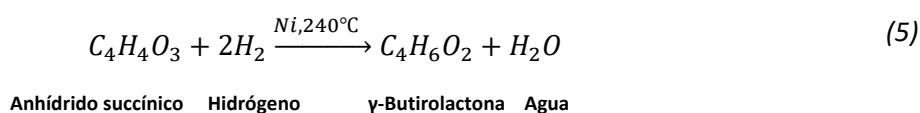
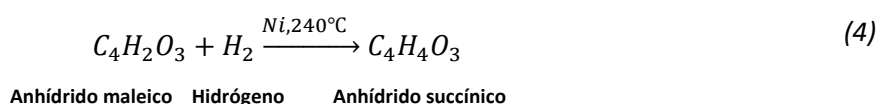
No obstante, no es un proceso tan rentable actualmente debido al elevado precio del 1,4-butanodiol y a la necesidad de una fuente externa de calor. Otra desventaja que presenta es el uso de materiales peligrosos como el acetileno, razón por la que este proceso está siendo sustituido por otros procesos más seguros (2).

5.1.2. Proceso Mitsubishi

El proceso Mitsubishi (3) supone la obtención de γ -butirolactona por hidrogenación directa en fase líquida de anhídrido maleico o, en su defecto, de su derivado anhídrido succínico. Es el método empleado por la compañía Mitsubishi Chemical Corporation, disponiendo de un gran número de patentes asociadas al proceso.

La mayor parte del anhídrido maleico se produce por oxidación de n-butano empleando el proceso conocido como BOC/Mitsubishi, logrando una alta selectividad y pureza.

El anhídrido maleico obtenido se funde y se mezcla con una corriente de hidrógeno puro precalentado. La corriente resultante se introduce en un lecho de catalizador de Níquel a una temperatura entre 160 °C y 280 °C, y a una presión entre 60 a 120 bar. Las reacciones principales son las siguientes:



La reacción tiene lugar mediante el compuesto intermedio anhídrido succínico, y dependiendo de las condiciones de operación, la reacción de hidrogenólisis puede continuarse para obtenerse otros productos de gran demanda como el tetrahidrofurano o el 1,4-butanodiol (1).

El exceso de hidrógeno se separa por un lavado con agua y parte se recircula. Los subproductos derivados de la hidrogenación, como el butanol o los ácidos propiónico y butírico, se separan de la γ -butirolactona por una destilación en varias etapas.

Esta ruta de obtención de γ -butirolactona es la más directa de todas y la más rentable, pues la obtención de anhídrido maleico es significativamente barata. Por este motivo, es el proceso industrial de producción de γ -butirolactona más demandado en la actualidad (4). No obstante, los principales problemas que presenta son la necesidad de emplear una corriente de hidrógeno puro, las altas presiones de operación y la generación de ácidos que obligan a la necesidad de materiales que soporten la corrosión de los mismos.

5.1.3. Proceso Davy

También conocido como proceso Davy-McKee, fue desarrollado por la compañía Kvaerner Process Technology (KPT) y consiste en la hidrogenación continua de maleato de dimetilo a partir de anhídrido maleico y metanol (5). Un esquema general de las distintas etapas de reacción se presenta a continuación:

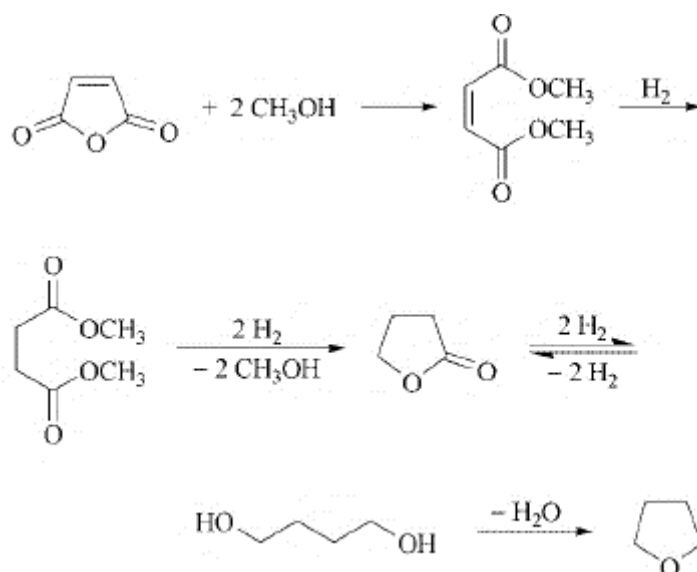


Figura 2. Producción de γ -butirolactona por el proceso Davy-McKee. (Fuente: (1))

En la primera etapa se obtiene maleato de dimetilo al producirse la esterificación del anhídrido maleico con metanol en un ácido fuerte. El maleato de dimetilo se calienta y evapora, y se produce su hidrogenación empleando un catalizador de cobre a una presión de 20 a 80 bar y una temperatura entre 150 °C y 200 °C.

El resultado es una mezcla de tetrahidrofurano, 1,4-butanodiol, γ -butirolactona y succinato de dimetilo. La cantidad de γ -butirolactona obtenida depende de las condiciones de operación, y generalmente suele estar entre el 5 y 50% en masa.

Los principales inconvenientes que presenta son la dificultad de separación de la mezcla resultante y el empleo de ácidos fuertes como catalizadores homogéneos. Este proceso, en lo que respecta a la producción industrial de γ -butirolactona, está cada vez en más desuso, y se emplea principalmente para la producción de tetrahidrofurano y 1,4-butanodiol (6).

5.1.4. Otros procesos

Además de los procesos mencionados anteriormente, existen diferentes rutas de obtención de γ -butirolactona que, por su escasa repercusión en el cómputo global, no se consideran industrialmente importantes (1).

Los procesos incluyen la producción vía tetrahidrofurano, acetileno, olefinas y 1,4-butanodiol, entre otros.

5.2. Análisis de procesos en desarrollo

Numerosas investigaciones se han llevado a cabo a fin de mejorar los procesos existentes de producción de γ -butirolactona a escala industrial para la apertura de nuevas plantas químicas, centrándose principalmente en el catalizador y las condiciones de operación que maximicen la producción del producto deseado.

En este apartado se analizan algunos modelos propuestos.

5.2.1. Estudios de hidrogenación de anhídrido maleico.

Existen actualmente patentes en las que se han conseguido desarrollar catalizadores en base de Cu que permiten la hidrogenación de anhídrido maleico en fase vapor y a presiones más moderadas que las requeridas por el proceso Mitsubishi. El interés de la utilización de anhídrido maleico como materia prima radica en el bajo coste de éste en el mercado, comparado con sus alternativas para la producción de γ -butirolactona.

En el proceso de la patente (7), la conversión y selectividad logradas de cara a la producción de γ -butirolactona no mejora el proceso original, debido principalmente a las altas temperaturas alcanzadas, cercanas a los 500 °C, que provocan la desactivación del catalizador y con ello su disminución progresiva de la productividad.

En la patente (8) se emplea un catalizador de Cu/Zn/Cr/Al, pero tampoco se obtienen resultados satisfactorios. Además, el uso de catalizadores que contienen Cr no es recomendable actualmente en la industria química debido a su toxicidad e impacto negativo en el medio ambiente.

Otro estudio (9) utiliza catalizadores basados en metales nobles, tales como Cu/Pd o Cu/Pt, pero el alto coste de éstos supone un inconveniente en su empleo.

La patente (10) realiza un estudio interesante de la hidrogenación en fase vapor y a presión atmosférica empleando un catalizador únicamente de Cu y Zn con soporte de alúmina, en proporción variable, logrando resultados satisfactorios tanto a escala de laboratorio como en una planta piloto. El rendimiento obtenido, tras 10 días de trabajo de operación, fue superior al 96%, por lo que es de esperar que el proceso sea satisfactorio también a una escala industrial.

Más recientemente, Zhao et Al. (11) realizaron un estudio empleando también un catalizador de $\text{Cu/Zn/Al}_2\text{O}_3$ obteniendo de nuevo resultados favorables: conversión y selectividad por encima del 90% a temperaturas y presiones más moderadas.

5.2.2. Estudios de hidrogenación de maleato de dimetilo

También se han llevado a cabo estudios que plantean alternativas al proceso Davy. El más interesante es el desarrollado por Ohlinger et Al. (12). Estudiaron la hidrogenación del maleato de dimetilo empleando catalizadores de $\text{Cu/ZnO/Al}_2\text{O}_3$ en un reactor tubular de lecho fijo a 10 bar y temperaturas comprendidas entre 180 °C y 240 °C. Se comprobó que la conversión del reactivo a succinato de dimetilo era completa, el cual posteriormente es transformado en γ -butirolactona. No obstante, debido a las condiciones de operación y al efecto del soporte de alúmina, ésta se hidrogena a 1,4-butanodiol, alcanzando un equilibrio.

La selectividad obtenida no es excesivamente elevada, en torno al 60%, pero se consigue mejorar el proceso original. En el estudio se concluye, además, que el proceso puede llevarse a cabo incluso a presiones más bajas, para lo que sería necesario más investigación en el asunto.

5.2.3. Estudios de acoplamiento de dos reacciones complementarias

Zhu et Al. (13) desarrollan en el año 2002 una interesante idea: acoplar las dos reacciones principales de obtención de γ -butirolactona, la hidrogenación de anhídrido maleico y la deshidrogenación de 1,4-butanodiol, en un mismo sistema catalítico. El objetivo es múltiple: aprovechar el aporte energético y la transferencia de hidrógeno entre ambas reacciones, optimizar la selectividad de γ -butirolactona, eliminar la necesidad de una corriente de hidrógeno puro y reducir las condiciones de operación, facilitando el control y la seguridad de la planta.

En su estudio, llevaron a cabo las dos reacciones por separado en una planta piloto empleando un catalizador de $\text{Cu/ZnO/Al}_2\text{O}_3$ y luego lo compararon con la reacción acoplada. Los resultados fueron satisfactorios, obteniéndose una conversión del 100% para ambos reactivos y una selectividad cercana al 99% de producto deseado.

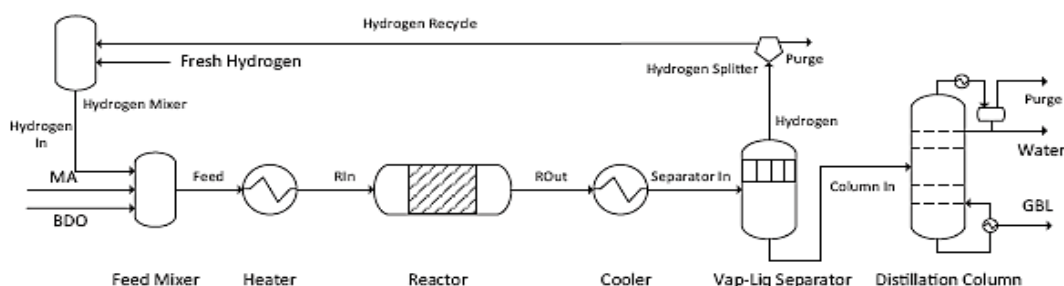


Figura 3. Diagrama de la planta de producción de γ -butirolactona por acoplamiento de 1,4-butanodiol y anhídrido maleico. (Fuente: (14))

Javaid et Al. (14) fueron los principales impulsores de llevar a cabo este proceso a una escala industrial, y en 2014 realizaron un estudio de investigación de una planta química completa en el simulador Aspen Plus empleando este sistema reactivo.

La relación molar de hidrógeno/anhídrido maleico de la simulación era de 150 mol/mol, el catalizador empleado era de $\text{Cu/ZnO/Al}_2\text{O}_3$ y la temperatura y presión dentro del reactor era de

245 °C y 1,5 bar, respectivamente. La conversión de ambos reactivos obtenida es de 99,5% y apenas se forman subproductos.

Se confirma que, teóricamente, la construcción de una planta química de estas características es posible. En la figura 3 se presenta un esquema del modelo propuesto.

A raíz de este descubrimiento, se estudió otra ruta de producción alternativa a mano de los mismos autores: el acoplamiento de la deshidrogenación catalítico de 1,4-butanodiol e hidrogenación catalítica de furfural (15). El esquema propuesto, figura 4, es significativamente más complejo que el anterior y la separación de los compuestos es más complicada, principalmente por la presencia de azeótropos. No obstante, los resultados fueron nuevamente satisfactorios.

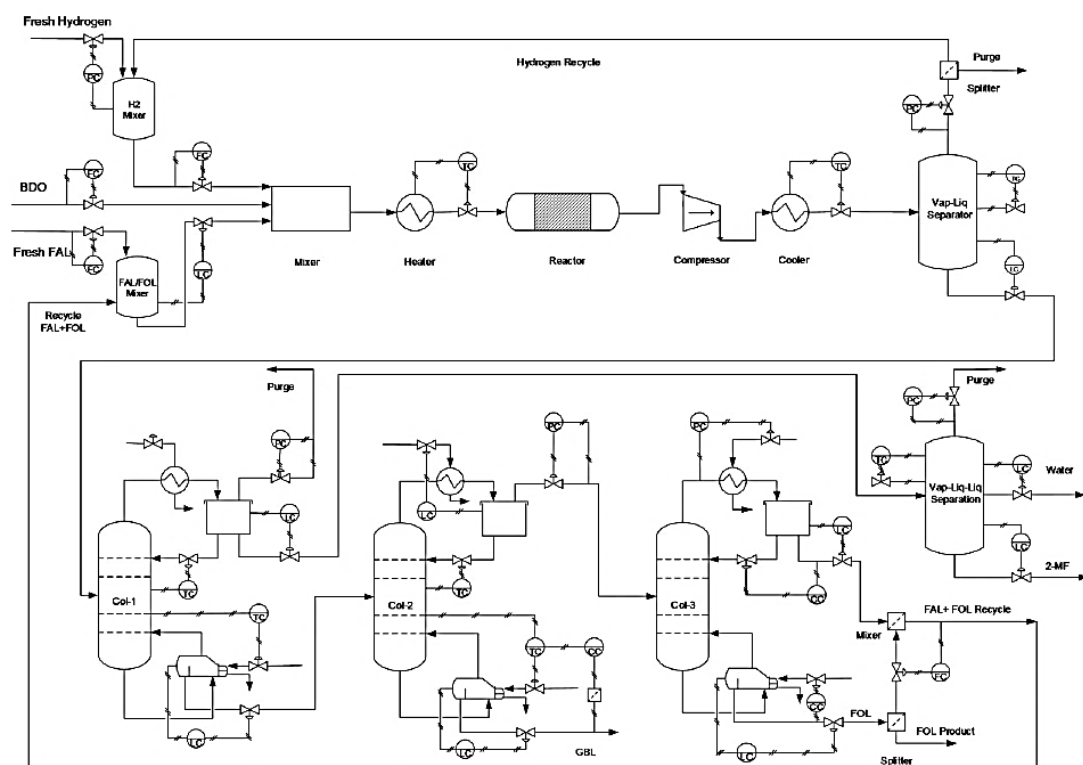


Figura 4. Diagrama de la planta de producción de γ -butirolactona por acoplamiento de 1,4-butanodiol y furfural. (Fuente: (15))

5.3. Elección del proceso

En base a los análisis previos, se debe seleccionar la alternativa más adecuada para la producción en grandes cantidades de γ -butirolactona.

Los procesos industriales Mitsubishi y Davy se descartan por el empleo de elevadas presiones y la necesidad de una corriente de hidrógeno puro de entrada al proceso, dado que contradice los objetivos del proyecto de operar en condiciones seguras y eliminar el requerimiento de hidrógeno. El proceso Reppe supone una buena alternativa, pues la deshidrogenación del 1,4-butanodiol proporciona el hidrógeno necesario para permitir la recirculación del mismo.

Para evitar la utilización de acetileno como materia prima, se considera la producción de γ -butirolactona a partir de 1,4-butanodiol directamente, lo que requiere la compra del mismo a una compañía externa.

De los modelos propuestos en desarrollo, el más interesante por sencillez y resultados es el propuesto por Zhu et Al. y desarrollado más adelante por Javaid et Al. de acoplamiento de las reacciones catalíticas de deshidrogenación de 1,4-butanodiol e hidrogenación de anhídrido maleico en catalizadores de base de cobre, zinc y alúmina.

En la tabla siguiente se muestra una comparativa entre ambos procesos considerados.

Tabla 1. Comparación entre el proceso Reppe y la alternativa de acoplamiento propuesta por Zhu et Al. (Elaboración propia)

Parámetro	Reppe	Acoplamiento
Condiciones de operación óptimas	Temperaturas entre 190 y 250 °C Presiones entre 0,3 y 10 bar	Temperaturas entre 210 y 300 °C Presiones entre 0,3 y 5 bar
Necesidad de hidrógeno	Nula. El proceso se autoabastece	Nula teóricamente, pero requiere de un sistema de entrada y purga de hidrógeno por motivos de control
Aporte energético en el reactor	Sí, se requiere de una fuente externa de calor	No, el aporte energético lo realiza la reacción exotérmica del anhídrido maleico
Rentabilidad	Baja, por los altos costes de operación y el elevado precio de compra del 1,4-butanodiol	Alta, los costes de operación se reducen al acoplar las dos reacciones complementarias, y el menor precio de mercado del anhídrido maleico incrementa los beneficios brutos
Conversión y selectividad	Elevadas, superior a 93% en ambas	Muy elevadas, 100% de conversión de reactivos y selectividad de butirolactona por encima de 98,6%

Se decide implementar la alternativa propuesta de acoplamiento de las dos reacciones complementarias en base a una mejor rentabilidad por reducción de costes de operación y mejor conversión y selectividad del producto deseado, eliminando en gran medida la formación de subproductos.

El proceso puede mejorarse en un futuro con la adquisición de 1,4-butanodiol y anhídrido succínico sintetizados a partir de fuentes renovables (16). El anhídrido succínico es además una buena alternativa al anhídrido maleico, pues sus propiedades físico-químicas son semejantes y los equipos de la planta serían igualmente válidos.

No obstante, a pesar de que existen plantas de producción a nivel industrial de estos dos compuestos a partir de biomasa, sus altos precios en el mercado disminuyen considerablemente la rentabilidad del proceso y no resultaría viable actualmente.

6. Descripción del proceso

En este apartado se describe el proceso seleccionado para la planta química de producción de 15.000 ton/año de γ -butirolactona al 99,7% en masa, operando en continuo 330 días al año y 24 horas al día. Se trata de un proceso que actualmente no está en vigor en ninguna planta química y que constituye una alternativa a los procesos actuales.

6.1. Descripción de la instalación

El esquema general del proceso es semejante al planteado por el estudio de Javaid et Al., pero añadiéndole modificaciones. Esto es debido, principalmente, a ciertas características del flujo que en dicho estudio no se mencionan, como, por ejemplo, el flujo bifásico de salida del condensador que presenta dificultades por el alto contenido en hidrógeno. En la figura 5 se muestra el diagrama de bloques del modelo propuesto en este trabajo.

La planta está dividida en cuatro secciones principales en base a las funciones que se desempeñan en cada una:

- **Área 100:** es la zona de acondicionamiento de los reactivos, 1,4-butanodiol y anhídrido maleico, y la mezcla de ambos con la corriente de recirculación, compuesta principalmente por hidrógeno. El objetivo es obtener una corriente cuya proporción de reactivos, temperatura y presión sean acordes con las requeridas para proporcionar un rendimiento óptimo en la fase de reacción.
- **Área 200:** es la zona de reacción química, y comprende únicamente al reactor químico.
- **Área 300:** en esta sección se produce la separación de la corriente resultante de la reacción química. Debido a que las condiciones a la salida del reactor no son adecuadas para la separación de los componentes, es necesario recurrir a una etapa de acondicionamiento previo consistente en un condensador parcial que separe el hidrógeno en exceso de la mezcla.
- **Área 400:** comprende la recirculación de la corriente de hidrógeno en exceso, y su acondicionamiento para ser mezclado con las corrientes de reactivos en el Área 100.

En el Documento II. Planos, se muestra un plano de situación de la planta con la ubicación de los distintos equipos y servicios. Además de las cuatro secciones principales, que conforman la batería del proceso, la planta dispone de:

- Dos almacenes: el de materias primas y el de productos.
- Una zona de tratamiento de hidrógeno.
- Una zona de utilidades.
- Edificio principal, laboratorio, oficinas y un aparcamiento de coches.

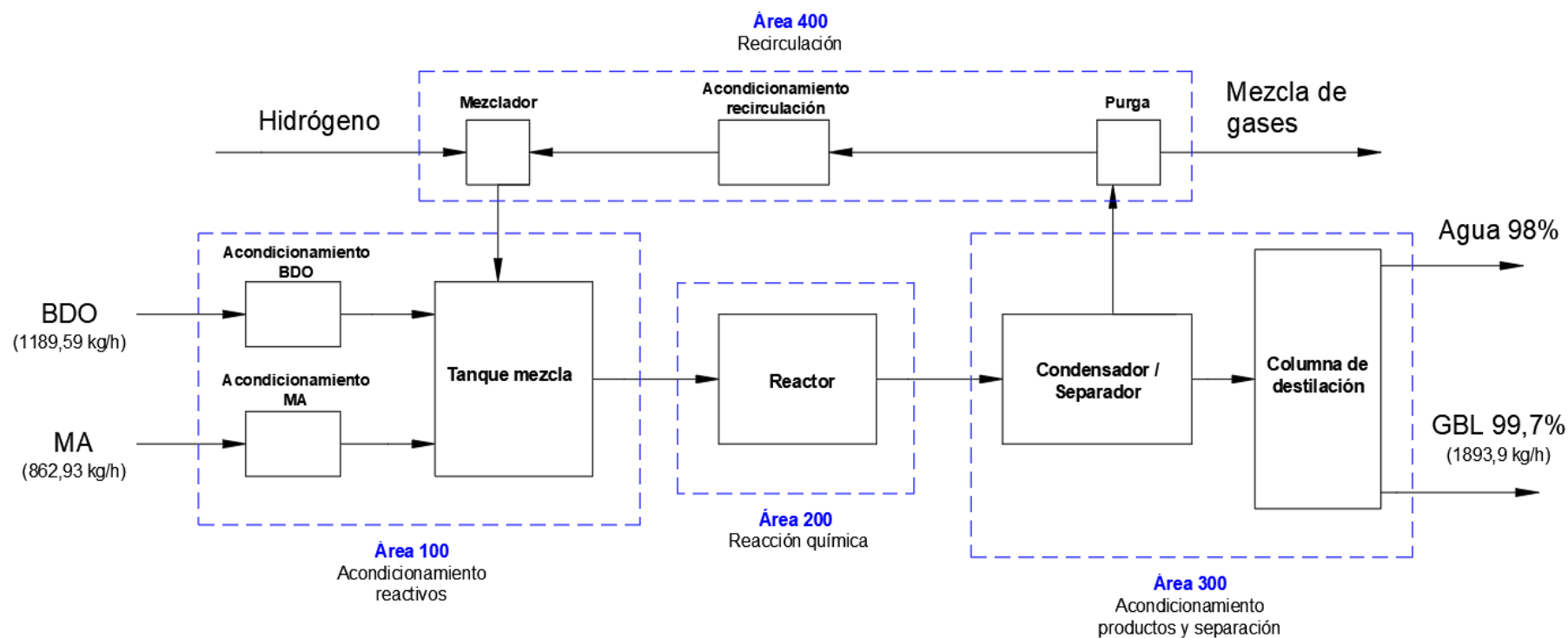


Figura 5. Diagrama de bloques de la planta de producción de γ -butirolactona. (Elaboración propia)

6.2. Descripción detallada del proceso

A continuación, se realiza una descripción detallada del proceso productivo propuesto para la instalación. Para un mejor seguimiento de la información, en el Documento II. Planos se muestra el diagrama de flujo con los datos de todas las corrientes y los principales equipos utilizados. Se omiten en el mismo las corrientes de entrada y salida de hidrógeno puro pues no son requeridas en condiciones normales de operación, asumiéndose su necesidad únicamente en condiciones que así lo requieran.

6.2.1. Área 100: Zona de acondicionamiento de reactivos

El 1,4-butanodiol al 99,9% se almacena en un depósito cilíndrico a temperatura y presión atmosféricas. Su suministro llega por barco al puerto más cercano y desde ahí es transportado a la instalación en camiones cisterna. El anhídrido maleico al 99,9% se transporta en estado líquido a 70 °C y presión atmosférica mediante camiones cisterna en depósitos herméticos, almacenándose en las mismas condiciones.

La corriente de 1,4-butanodiol a 25 °C y 1 bar (corriente 1) se calienta y cambia a fase vapor en el evaporador E-101, que opera con vapor de agua a alta presión (40 barg). La corriente de salida resultante es 1,4-butanodiol vapor a 228 °C y 1 bar (corriente 2), que posteriormente se hace pasar por el compresor K-101 para elevar la presión hasta los 1,5 bar, que es la presión de operación del reactor. En el proceso, la temperatura se incrementa hasta los 242,6 °C (corriente 3). La decisión de evaporar primero y comprimir después se realiza en base a un análisis económico.

De forma análoga, el anhídrido maleico a 70 °C y 1 bar (corriente 4) se calienta y evapora (corriente 5) empleando el evaporador E-102, que opera con vapor de agua a media presión (26 barg). Luego, se comprime hasta los 1,5 bar mediante el compresor K-102. La corriente resultante es anhídrido maleico vapor a 218,8 °C y a 1,5 bar (corriente 6).

La mezcla de ambas corrientes (3 y 6) con la de hidrógeno procedente de recirculación (corriente 16) se produce en el tanque de mezcla V-101, diseñado para obtener una mezcla homogénea.

6.2.2. Área 200: Zona de reacción

El reactor químico R-201 opera adiabáticamente a 245 °C y a 1,5 bar haciendo uso de un catalizador industrial de Cu/ZnO/Al₂O₃, que maximiza la producción de γ -butirolactona en estas condiciones. La corriente de entrada procedente del tanque V-101 (corriente 7) tiene una relación molar de MA:BDO:H₂ de 1:1,5:150, respectivamente.

La corriente de salida formada por la mezcla gaseosa de γ -butirolactona, agua e hidrogeno, sale a 270,22 °C y 1,42 bar del reactor (corriente 8), y se lleva posteriormente al área 300 para el tratamiento y separación del producto principal.

Un estudio más exhaustivo de las reacciones químicas y el catalizador utilizado se realiza en el apartado 4.1 del Anexo II. Cálculos justificativos.

6.2.3. Área 300: Zona de separación

En esta sección, la corriente de salida del reactor R-201 se lleva a un condensador parcial, que opera empleando agua de refrigeración a 5 °C. Por la parte superior sale la corriente gaseosa que se va a recircular (corriente 14), y la mezcla líquida se recoge en la parte inferior en un canal inclinado.

A través de dicho canal, el líquido se lleva hasta el recipiente V-301 para que se homogenice la mezcla, cuyas condiciones se estiman como 95 °C y 1,39 bar (corriente 9). Posteriormente, la corriente líquida se impulsa con las bombas P-301A/B (corriente 10) y se lleva hasta la columna de destilación T-301, con el objetivo de obtener como producto de colas γ -butirolactona líquida al 99,7% en masa (corriente 13). La columna opera a 1 bar (corriente 11), por lo que se requiere reducir la presión de la corriente líquida de alimentación empleando la válvula de control parcialmente abierta PVC/303.

Por destilados se obtiene una corriente de aguas residuales (corriente 12), que se lleva a una E.D.A.R donde es tratada antes de su vertido al medio. Para el correcto funcionamiento de la columna se utiliza un condensador total E-302, que opera con parte del agua de refrigeración a 10 °C procedente de la salida del condensador E-301, un tambor de reflujo V-302 posterior y un evaporador parcial E-303 o calderín que permite obtener la calidad deseada en el producto.

6.2.4. Área 400: Zona de recirculación

La corriente gas de salida del condensador, formada principalmente por hidrógeno y trazas de γ -butirolactona y vapor de agua, se comprime hasta 1,5 bar empleando el compresor K-401 (corriente 15) y se calienta posteriormente hasta los 246,08 °C en el intercambiador de calor E-401 (corriente 16), que opera con un aceite térmico de larga duración.

El objetivo es alcanzar las condiciones adecuadas para la mezcla en el tanque de mezcla V-101, y el hecho de comprimir primero y calentar después se rige en base a las heurísticas de diseño, pues disminuye los costes al requerir equipos de menor tamaño.

Adicionalmente, y como medida de control de la planta, se establece un sistema de purga y entrada de alimentación fresca. La purga elimina parte de la corriente gas de salida del condensador E-301 en caso de generación excesiva de hidrógeno en el reactor por predominio puntual de la reacción endotérmica. Esta corriente se lleva a una antorcha, emitiéndose a la atmósfera vapor de agua y trazas de COVs.

En caso de consumo excesivo de hidrógeno en el reactor, se añade al proceso hidrógeno fresco procedente de un tanque de almacenamiento y cuyo suministro a la instalación se realiza por camión en recipientes cilíndricos de 525 L de hidrógeno puro a 300 bar y 15 °C. Para añadirlo como alimentación, el hidrógeno se despresuriza y calienta empleando expansores e intercambiadores de calor en serie en la zona de tratamiento de hidrógeno de la planta.

7. Materias

7.1. Detalles del producto: γ -Butirolactona

El producto principal de la planta química es γ -butirolactona (CAS 96-48-0), también conocido como oxolan-2-ona, 1,4-butanolida, 4-butirolactona o por sus siglas GBL. Se trata de un líquido incoloro y de olor característico, miscible en agua, alcohol, éster, éter y compuestos aromáticos. Es considerado como un excelente disolvente para numerosos polímeros e hidrocarburos, y se utiliza en la industria principalmente como intermediario en la producción de otros compuestos químicos, como las pirrolidonas o el tetrahidrofurano (THF), así como disolvente en productos electrónicos, agrícolas y pinturas (1).

Fue sintetizado por primera vez en la década de 1940 por la compañía manufacturera BASF empleando el proceso Reppe (apartado 5.1.1), que hasta de hoy sigue siendo el proceso principal de manufactura de γ -butirolactona en Europa. Otros procesos que se desarrollaron más adelante fueron los de las compañías Mitsubishi y KPT en los años 1969 y 1995 respectivamente. La producción mundial de γ -butirolactona asciende a 370.000 toneladas al año en 2012 y se estima que actualmente supera las 500.000 toneladas anuales (17).

En los años 60 se descubrió que este compuesto está presente en la naturaleza al hallar una pequeña cantidad (5 $\mu\text{g/ml}$) en unas muestras de vino puro (18). Unos años más tarde se confirmó que está presente en muy pequeñas concentraciones (< 1 mg/kg) en bayas, frutas, café y bebidas alcohólicas. A raíz de este hallazgo comenzaron las investigaciones acerca de la toxicología del compuesto (19).

En 1973 se identificó que su ingesta en exceso actúa como inhibidor del sistema nervioso central en humanos, al metabolizarse rápidamente a ácido γ -hidroxibutírico (GHB). Debido a este efecto, se utiliza con fines terapéuticos como agente sedante y como medicamento de control de narcolepsia e insomnio (20).

A finales de los años 90 se utilizó también como droga al mezclar pequeñas cantidades en alcohol, incrementando en hasta 5 veces el efecto del mismo. Actualmente está clasificada en la lista IV de drogas en la Unión Europea y es una sustancia prohibida en numerosos países para uso propio, estableciéndose un control estricto de las transacciones comerciales de GBL a nivel mundial (21).

7.1.1. Propiedades químicas

Las lactonas son compuestos orgánicos de tipo éster cíclico. Dentro de la familia de lactonas, la GBL es de las más estables al poseer un anillo de cinco miembros, generando menor tensión en los ángulos de la molécula (Figura 6) respecto a las lactonas más simples (22).

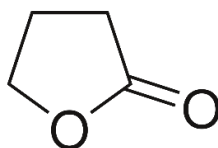


Figura 6. Molécula de γ -butirolactona.

7.1.1.1. Reacciones con apertura de anillo

La γ -butirolactona reacciona en disolución acuosa con ácidos fuertes, bases y alcoholes, produciéndose la apertura del anillo y proporcionando ácido γ -hidroxibutírico y derivados (1). En la figura 7 se representan tres ejemplos de reacciones de GBL de este tipo:

- Reacción en medio ácido (figura 7a), obteniéndose ácido γ -hidroxibutírico.
- Reacción en medio básico (Figura 7b), obteniéndose oxibato o γ -hidroxibutirato.
- Reacción con fenol (figura 7c), obteniéndose ácido 4-fenoxibutanoico.

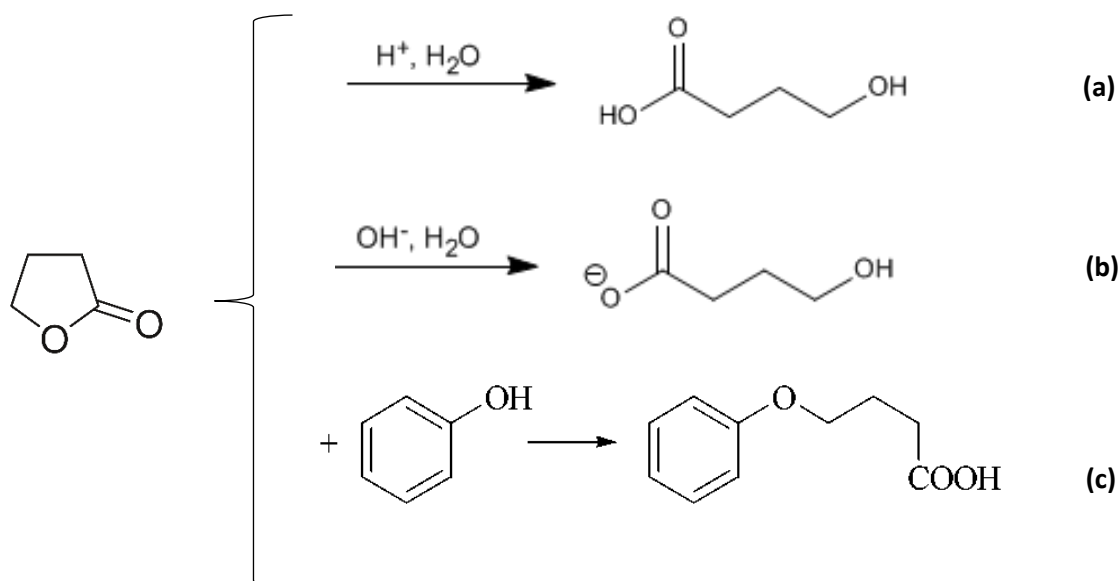


Figura 7. Ejemplos de reactividad de la GBL con apertura de anillo. (Adaptado de (1), (23))

El mecanismo de la reacción (a) se detalla en la figura 8, observándose que la apertura del anillo se produce por hidrólisis mediante sustitución nucleófila S_N2 en el carbono sp^2 .

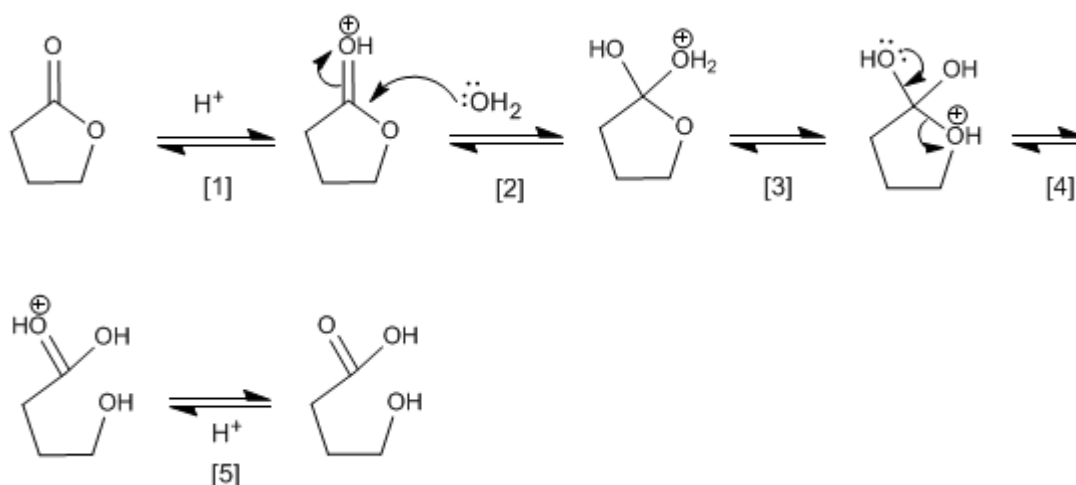


Figura 8. Mecanismo de reacción de GBL en medio ácido. (Fuente: (23))

7.1.1.2. Reacciones sin apertura de anillo

Las reacciones en las que no se produce la separación del anillo son más interesantes a nivel industrial pues genera compuestos de gran demanda.

- La GBL sirve como precursor de α -acetobutirolactona, compuesto intermediario en la producción de vitamina B₁ (figura 9a).
- Las pirrolidonas se generan por sustitución del átomo de oxígeno por el de nitrógeno, obteniéndose 2-pirrolidona al reaccionar con amoníaco (Figura 9b) y N-metilpirrolidona al reaccionar con metilamina (Figura 9c).

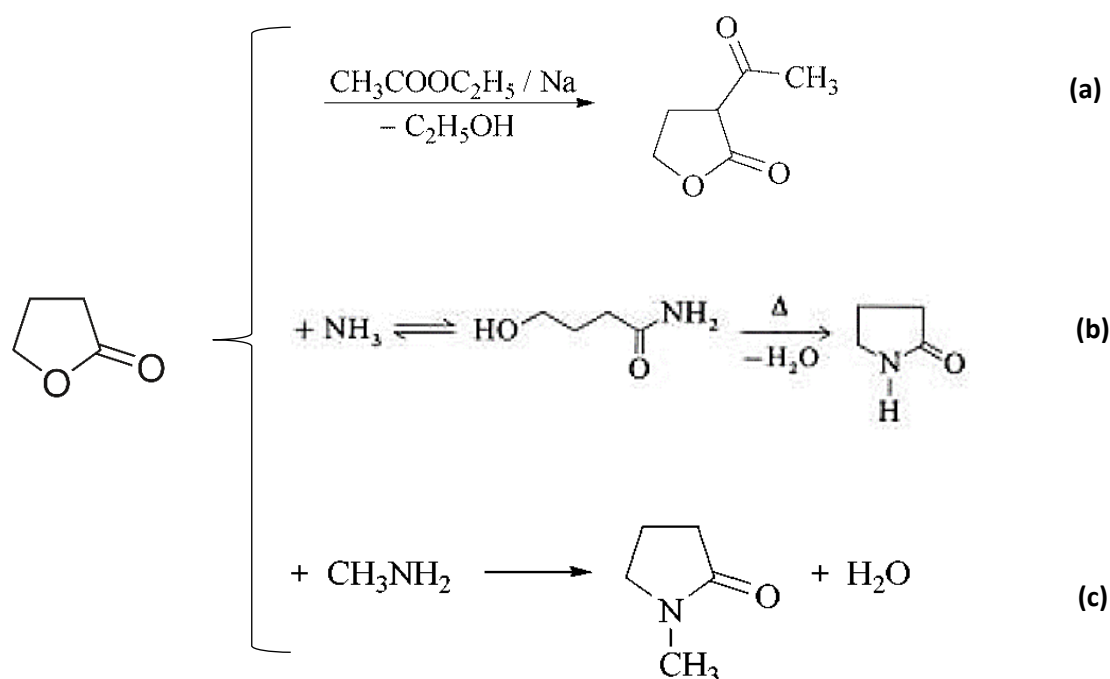


Figura 9. Ejemplos de reactividad de la GBL sin apertura de anillo. (Adaptado de (1), (2), (3))

7.1.2. Propiedades físicas

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las propiedades físicas de la GBL:

Tabla 2. Propiedades físicas de la γ -butirolactona (Fuente: (1))

Propiedad	Valor
Peso molecular	86,09
Densidad (kg/m^3)	
a 0 °C	1150
a 20 °C	1130
Temperatura crítica (°C)	436,5
Presión crítica (MPa)	3,35
Calor latente de vaporización (kJ/mol)	49,01

Presión de vapor (kPa)	
a 20 °C	0,04
a 50 °C	0,3
a 100 °C	3,6
a 150 °C	22,5
a 205 °C	101,3
Capacidad calorífica, líquido (kJ/kgK)	
a 25 °C	1,68
a 100 °C	1,85
a 200 °C	2,20
Capacidad calorífica, gas 300 °C (kJ/kgK)	1,82
Temperatura de fusión, 1 atm (°C)	-43,5
Temperatura de ebullición, 1 atm (°C)	203,8
Límites de inflamabilidad (% vol.)	
Inferior	2,7%
Superior	15,6%
Viscosidad dinámica, 20 °C (mPa · s)	1,90
Temperatura de autoignición (°C)	455
Tensión superficial, 20 °C (N/m)	0,0446
Constante dieléctrica, 20 °C	39,1
Conductividad térmica, 25-65 °C (W/mK)	0,276
Punto flash, <i>closed cup</i> (°C)	98

7.1.3. Usos

El uso principal de la γ -butirolactona es como intermediario en la síntesis industrial de otros compuestos (17), (6), (1):

- Pirrolidonas: N-metilpirrolidona (NMP), 2-pirrolidona (2P), polivinilpirrolidona (PVP).
- Producción de α -acetobutirolactona en la síntesis de vitaminas.
- Síntesis de ciclopropilamina, intermediario en la síntesis de productos farmacéuticos.

Dadas sus excelentes propiedades, también se utiliza como disolvente en:

- Pesticidas, herbicidas y reguladores de crecimiento de plantas.
- Electrolito de baterías de Li-ion y pequeños capacitores.
- Agente de curado en sistemas de recubrimiento basados en amidas y uretanos.
- Tintas orgánicas solubles en agua (tintas de impresora).

Otros usos secundarios son su empleo como catalizador en la química de la fundición y como agente de extracción en la industria del petróleo.

7.1.4. Toxicología

La toxicidad de GBL es muy baja, con un coeficiente LD₅₀ medio de 1500 mg/kg. Al inhalarse no produce efectos secundarios, aunque se absorbe rápidamente al contactar con la piel y en el intestino al ingerirse. Su metabolismo y excreción son rápidos en el cuerpo humano al transformarse en GHB, provocando depresión en el sistema nervioso central (SNC) y efectos anestésicos en el sistema nervioso periférico (SNP). En largas exposiciones, puede provocar irritación en los ojos. No se detectaron efectos carcinogénicos.

Debido a su baja volatilidad y toxicidad y a su alta biodegradabilidad, no se considera un compuesto de riesgo importante para el medio ambiente (1) (21) (19).

7.1.5. Almacenamiento y transporte

El compuesto es estable bajo condiciones ambientales normales de temperatura y presión en su almacenamiento y manipulación. El producto puro no es corrosivo por lo que se puede almacenar y transportar en contenedores de acero al carbono, aunque en largos períodos de almacenaje en este material adquiere un tono amarillento (1).

7.2. Materias primas

7.2.1. 1,4-Butanodiol

El 1,4-butanodiol (CAS 110-63-4), también conocido como butilenglicol o por sus siglas BDO, es una sustancia líquida, viscosa, incolora e inodora, altamente soluble en agua, alcoholes, ésteres y glicoles. Se emplea principalmente como disolvente industrial y en la síntesis de poliuretano y otros compuestos orgánicos como la γ -butirolactona y el tetrahidrofurano (3).

La producción a gran escala de BDO se produce mediante el proceso Reppe por hidrogenación continua de 1,4-butanodiol, obtenido de la reacción química entre acetileno y formaldehído, usando catalizadores de Ni. La compañía BASF emplea este proceso y es la principal compañía manufacturera de BDO en Europa, con plantas de capacidades mayores a 190.000 toneladas anuales (1).

Otros procesos menos importantes son el proceso Daicel, de reacción entre gas de síntesis (CO y H₂) y un alcohol alílico, y el complejo proceso Mitsubishi de reacción catalítica de butadieno y ácido acético. Se estima que la producción mundial de BDO es de 4 millones de toneladas al año, y se espera que aumente hasta un 6% en los próximos años (24).

7.2.1.1. Propiedades químicas

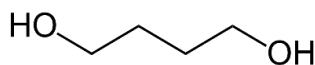


Figura 10. Molécula de 1,4-butanodiol.

El 1,4-butanodiol es uno de los cuatro isómeros estables del butanodiol, y su estructura molecular se representa en la figura 10.

En la figura 11 se muestra un esquema de las principales reacciones del BDO:

- En medio ácido, se produce la ciclación de la molécula para formar tetrahydrofurano (figura 11a).
- En presencia de catalizadores de cobre se produce la deshidrogenación del compuesto para dar γ -butirolactona (Figura 11b).
- Con ácidos dicarboxílicos y sus derivados, se pueden obtener poliméricos termoplásticos. Por ejemplo, al reaccionar con el ácido tereftálico, se sintetiza tereftalato de polibutileno (figura 11c)
- Reacciona con acrilonitrilo a 20 – 100 °C para formar 1,4-bis(2-cianoetoxi)butano (figura 11d).

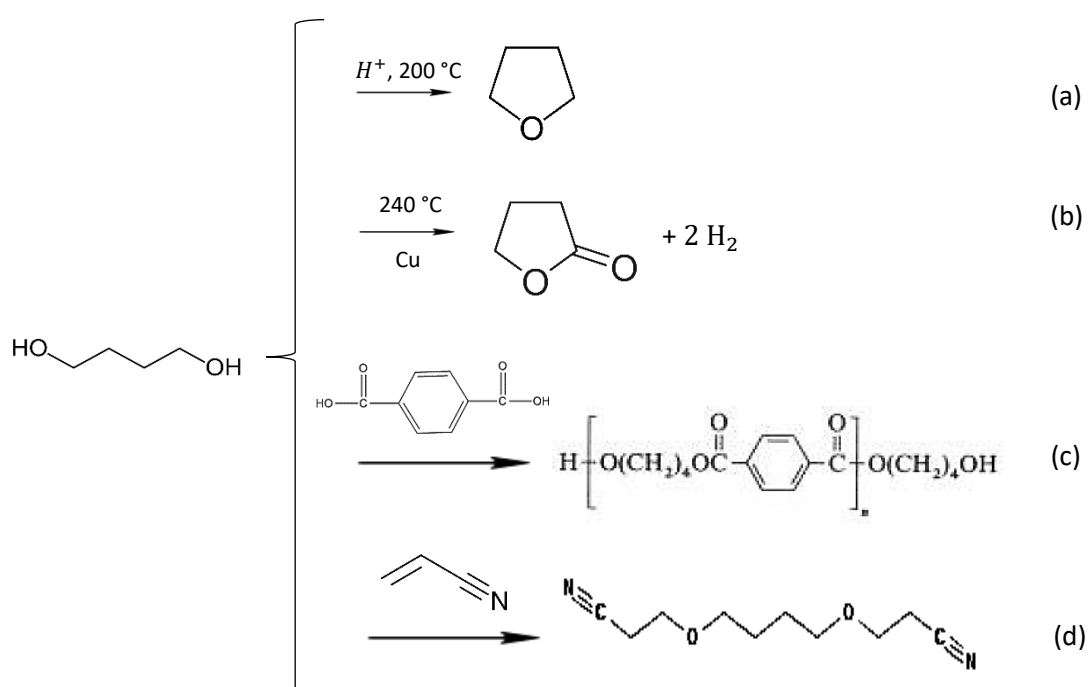


Figura 11. Ejemplos de reactividad del 1,4-butanodiol. (Adaptado de (1) (3) (25))

7.2.1.2. Propiedades físicas

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las propiedades físicas del 1,4-butanodiol:

Tabla 3. Propiedades físicas del 1,4-butanodiol (Fuente: (1))

Propiedad	Valor
Peso molecular	90,12
Densidad, 20 °C (kg/m ³)	1017
Temperatura crítica (°C)	446
Presión crítica (bar)	41,2
Calor latente de vaporización, 20 °C (kJ/mol)	72,95

Presión de vapor (kPa)	
a 60 °C	0,031
a 100 °C	0,47
a 140 °C	4,08
a 180 °C	21,08
a 200 °C	41,5
Capacidad calorífica, líquido (kJ/kgK)	
a 20 °C	2,74
a 75 °C	2,86
a 200 °C	3,24
Capacidad calorífica, 50% ac. (kJ/kgK)	3,4
Temperatura de fusión, 1 bar (°C)	20,2
Temperatura de ebullición, 1 bar (°C)	228,0
Límites de inflamabilidad (% vol.)	
Inferior	1,95%
Superior	18,3%
Viscosidad dinámica, 20 °C (mPa · s)	91,56
Temperatura de autoignición (°C)	350
Conductividad térmica, 30 °C (W/mK)	0,21
Punto flash, <i>closed cup</i> (°C)	134

7.2.1.3. Almacenaje y transporte

El BDO no es corrosivo y puede almacenarse indefinidamente en contenedores de acero o aluminio. El producto comercial suele distribuirse al 99,8 – 99,9 % en pureza, a 25 °C y 1 bar en contenedores de 250L de acero inoxidable (1) (25).

7.2.2. Anhídrido maleico

El anhídrido maleico (CAS 108-31-6), también conocido como 2,5-dioxofuran, anhídrido cis-butenodioico o por sus siglas MA, es, en su forma pura, un sólido blanco corrosivo, irritante y con un olor acre muy característico. Su principal aplicación en la industria es como materia prima en la síntesis de poliésteres que sirven de refuerzo para la fibra de vidrio usada en construcción naval. También se utiliza en la fabricación de pinturas y recubrimientos, resinas, agentes tensioactivos y productos agrícolas, entre otros (5).

Se produce industrialmente por oxidación catalítica de hidrocarburos en fase gas. En los años 30 la ruta principal se basaba en la oxidación de benceno, aunque en 1974 la compañía Monsanto desarrolló una ruta alternativa basada en n-butano. Esta ruta es la más empleada actualmente debido al elevado precio comercial del benceno y al impacto negativo que éste provoca en el medio ambiente y en el ser humano, pues es considerado como una sustancia carcinogénica. La producción anual global asciende a 2,59 millones de toneladas (26) (27).

7.2.2.1. Propiedades químicas

El anhídrido maleico es el anhídrido del ácido maleico, que no se encuentra en la naturaleza y se obtiene directamente por hidrólisis del primero (28). Es un compuesto con una alta reactividad, debido principalmente a la presencia del doble enlace y los dos grupos carbonilo en la estructura anular (figura 12).

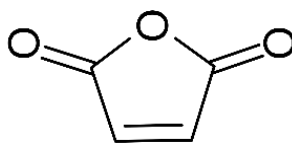


Figura 12. Molécula de anhídrido maleico

Algunas de las principales reacciones que tienen lugar con el anhídrido maleico se representan en la figura 13, y son (5) (29):

- Reacción de Diels-Alder con dienos, para formar anhídrido tetrahidroftálico y derivados (figura 13a).
- Hidrogenación catalítica para la síntesis de anhídrido succínico, precursor en la preparación de 1,4-butanodiol, tetrahydrofurano y γ -butirolactona (figura 13b).
- Adición conjugada de Michael con hidrocarburos (figura 13c).

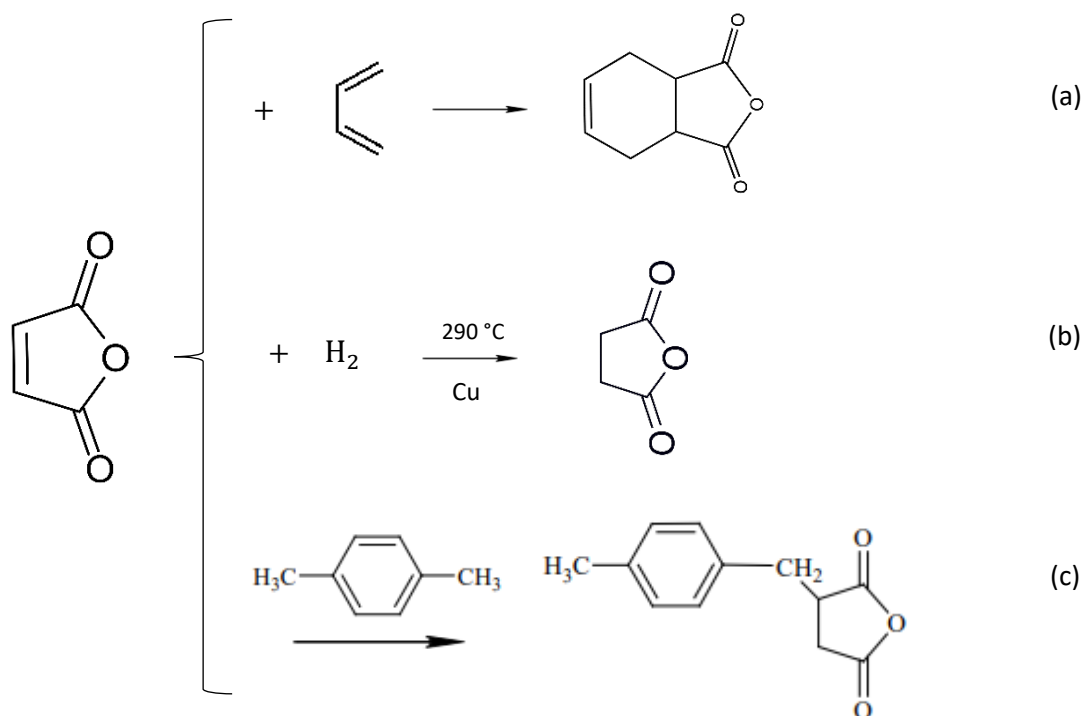


Figura 13. Ejemplos de reactividad del anhídrido maleico. (Adaptado de (1) (28))

7.2.2.2. Propiedades físicas

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las propiedades físicas del anhídrido maleico:

Tabla 4. Propiedades físicas del anhídrido maleico (Fuente: (1) (28))

Propiedad	Valor
Peso molecular (g/mol)	98,06
Densidad, 70 °C (kg/m ³)	1281
Temperatura crítica (°C)	447,9
Presión crítica (MPa)	7,28
Calor latente de vaporización, 70 °C (kJ/mol)	54,80
Presión de vapor (kPa)	
a 44 °C	0,031
a 78,7 °C	0,47
a 111,8 °C	4,08
a 135,8 °C	21,08
a 179,5 °C	41,5
Capacidad calorífica, líquido (kJ/kgK)	2,02
Temperatura de fusión, 1 bar (°C)	52,85
Temperatura de ebullición, 1 bar (°C)	202
Límites de inflamabilidad (% vol.)	
Inferior	1,4%
Superior	7,1%
Viscosidad dinámica, 70 °C (mPa · s)	1,44
Temperatura de autoignición (°C)	477
Conductividad térmica, 70 °C (W/mK)	0,14
Punto flash, <i>closed cup</i> (°C)	102

7.2.2.3. Almacenaje y transporte

El producto se suele comercializar con un mínimo de 99,8 % de pureza, y suele almacenarse tanto en forma líquida como en forma sólida, debido a su baja temperatura de fusión (5) (1) (28).

- En estado líquido, se almacena en atmósfera inerte a 55 – 75 °C en tanques de acero inoxidable o de aluminio puro. El transporte se realiza a 60 – 80 °C en camiones cisterna de hasta 24 toneladas con un sistema de calefacción incorporado que mantenga la temperatura en el tanque.
- En estado sólido, los gránulos de anhídrido maleico se comprimen en pequeñas pastillas de tamaño variable con un contenido de 0,5 a 20 gramos por pastilla. Las pastillas se recogen en sacos de polietileno, y se pueden almacenar durante tiempo indefinido siempre que se mantenga en un lugar fresco y seco.

7.2.3. Hidrógeno gas

El hidrógeno (CAS 1333-74-0) es un gas diatómico incoloro, inodoro, altamente inflamable y el más ligero de todos los gases. En sí no se considera tóxico, pero puede provocar asfixia por desplazamiento del oxígeno del aire en recintos confinados. En la industria química se utiliza principalmente en la síntesis de otros compuestos, entre ellos amoníaco, ciclohexano o metanol. También se utiliza como fuente de energía “limpia” en dispositivos electrónicos y vehículos eléctricos por oxidación altamente exotérmica con oxígeno puro, siendo éste el mecanismo empleado actualmente en la propulsión de los cohetes y naves aeroespaciales (30).

Fue descubierto y producido artificialmente por primera vez en el siglo XVIII al reaccionar hierro con ácidos diluidos. Hoy en día se sintetiza a gran escala por reformado con vapor de agua del gas natural a altas temperaturas, produciendo la mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno gas, también conocida como syngas. Otros procesos menos desarrollados, pero que reducen de manera significativa la emisión de gases de efecto invernadero y que favorecen la economía de hidrógeno, incluyen la producción biológica empleando algas en biorreactores y la electrólisis o termólisis del agua (31). Se estima que la demanda global de hidrógeno gas es de 40 millones de toneladas anuales (32).

7.2.3.1. Propiedades químicas

La molécula H_2 es bastante estable, pero aun así reacciona con multitud de compuestos. (33) Algunas reacciones principales se presentan en la figura 14.

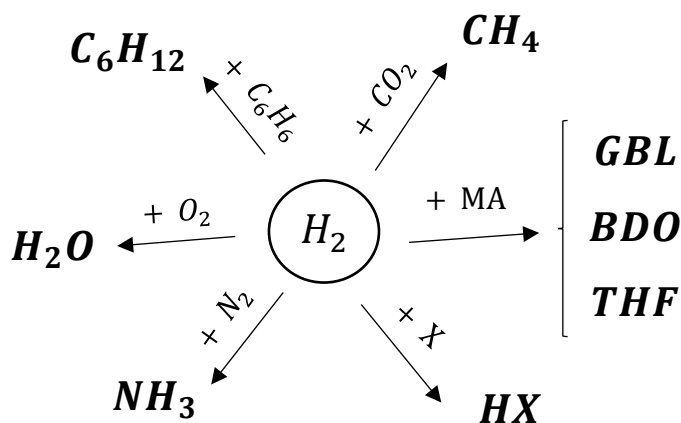


Figura 14. Ejemplos de reactividad del hidrógeno gas. (Adaptado de (1) (30) (33))

Al participar en las reacciones, el hidrógeno puede tener una carga positiva parcial cuando reacciona con más elementos electronegativos como los halógenos (F, Cl, Br, o I, representados como “X” en la figura 14) u oxígeno, pero puede tener una carga negativa parcial cuando reacciona con elementos más electropositivos como los metales alcalinos.

Cuando se une con flúor, oxígeno o nitrógeno, puede participar en una forma de enlace no covalente intermolecular de resistencia media llamado enlace de hidrógeno, que es fundamental para la estabilidad de muchas moléculas biológicas.

7.2.3.2. Propiedades físicas

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las propiedades físicas del hidrógeno gas:

Tabla 5. Propiedades físicas del hidrógeno gas (Fuente: (1) (30))

Propiedad	Valor
Peso molecular (g/mol)	2,01
Densidad, 0 °C (kg/m ³)	0,08
Temperatura crítica (°C)	-239,7
Presión crítica (MPa)	1,32
Calor latente de vaporización, 70 °C (kJ/mol)	54,8
Capacidad calorífica, líquido (kJ/kgK)	14,09
Temperatura de fusión, 1 bar (°C)	-259,35
Temperatura de ebullición, 1 bar (°C)	-252,88
Límites de inflamabilidad (% vol.)	
Inferior	4%
Superior	76%
Viscosidad dinámica, 20 °C (mPa · s)	0,0086
Temperatura de autoignición (°C)	571
Conductividad térmica, 20 °C (W/mK)	0,17

7.2.3.3. Almacenamiento y transporte

Almacenar el hidrógeno de forma efectiva es uno de los retos dentro de la economía del hidrógeno (1) (30) (34). Los métodos empleados en la actualidad son:

- Almacenamiento y transporte en fase gas a altas presiones (300 – 700 bar) en tanques especializados, incrementando la densidad del gas y almacenando más cantidad en menos espacio. Los recipientes comerciales típicos contienen 525 L a 350 bar y 15 °C (35).
- Almacenamiento y transporte en estado líquido empleando temperaturas criogénicas, alrededor de los -252 °C. Permite almacenar mucha cantidad en poco espacio, pero en comparativa es más caro al requerir de tanques con materiales y aislantes térmicos especiales y un alto aporte energético para lograr enfriar el gas hasta el punto de licuefacción del mismo.

8. Emplazamiento

8.1. Requisitos

La elección de un emplazamiento adecuado resulta fundamental en el desarrollo de un proyecto industrial, pues repercute directamente en los costes asociados al proceso.

- El principal factor limitante suele ser el transporte del producto desde la planta de producción hasta el lugar de compra, y el transporte de materias primas desde el distribuidor/proveedor hasta la planta. En la medida de lo posible, la localización debe ser cercana a los principales distribuidores de materia prima y adquirentes del producto.
- El emplazamiento debe disponer de servicios básicos: red de electricidad, de agua potable, de telefonía y de servicio contra incendios. Como se generan aguas residuales, sería conveniente conexión con una E.D.A.R.
- Ligado al punto anterior, es preferible una localización en un polígono industrial, pues se garantizan buenas vías de acceso, cercanía a carreteras principales y amplias zonas de aparcamiento, facilitando la gestión del transporte.

8.2. Estudio de la localización

8.2.1. Distribuidores de materia prima

8.2.1.1. 1,4-butanodiol

Los principales distribuidores de 1,4-butanodiol en España son las compañías BASF y Lyondell-Basell (36) (37), situadas en la provincia de Cataluña y más concretamente en Tarragona. No existen plantas de producción de 1,4-butanodiol a nivel nacional, y la mayoría del compuesto es importado desde Alemania y Países Bajos (38). El transporte de 1,4-butanodiol no presenta riesgo, y suele realizarse por barco o por camión.

El requerimiento anual de 1,4-butanodiol de la planta de este trabajo es de aproximadamente 9400 toneladas. Al mes son 785 toneladas y a la semana 196.

- Los camiones cisterna tienen permitido transportar hasta 24 toneladas por viaje según el Real Decreto 2822/1998, lo que conlleva 8 viajes a la semana.
- Por barco, la capacidad de transporte es mucho mayor y más barata, pero aumenta considerablemente el tiempo de entrega, en hasta 2 semanas por viaje. La planta tiene previsto un almacén de provisiones de 2 a 3 semanas de operación en continuo, lo que garantiza la validez del transporte por barco.

La decisión del medio de transporte se debe realizar en base a un análisis económico y a acuerdos comerciales que no son objeto de este proyecto. No obstante, quedaría justificada una localización cercana a un puerto o a la provincia de Cataluña.

8.2.1.2. Anhídrido maleico

España cuenta con una única planta de producción de anhídrido maleico a gran escala, propiedad de CEPSA Química, S.A, situada en el polígono de Guadarranque, en el municipio de San Roque, Cádiz (39). La capacidad de la planta asciende hasta las 40.000 toneladas anuales (40), y ofrecen el producto con una pureza mínima garantizada del 99,5%, tanto en estado líquido como en estado sólido.

La planta química de este proyecto requiere de anhídrido maleico en fase líquida, por lo que se debe realizar su transporte mediante tanques especializados que incrementan su coste. Por este motivo, la planta tendría justificada su ubicación en las cercanías de la bahía de Algeciras.

8.2.1.3. Hidrógeno gas

La industria del hidrógeno crece continuamente en aras de ofrecer plantas de producción sostenible de hidrógeno. En febrero del año 2018 se instauró en España la primera planta de producción de hidrógeno a partir de agua electrolizada, situada en Alcázar de San Juan (Ciudad Real), propiedad de la empresa Vitale S.L. En noviembre del mismo año comenzó su funcionamiento, y ofrece hasta 135 toneladas anuales de hidrógeno puro (41).

La mayor productora en el mundo de hidrógeno procedente del reformado de gas natural es la compañía The Linde Group, con plantas de producción en Australia, Alemania, Shanghai y Japón de hasta 200,000 Nm³/h (42) (43). En la figura 15 se muestra un mapa con los principales distribuidores de hidrógeno de esta compañía en la península Ibérica.

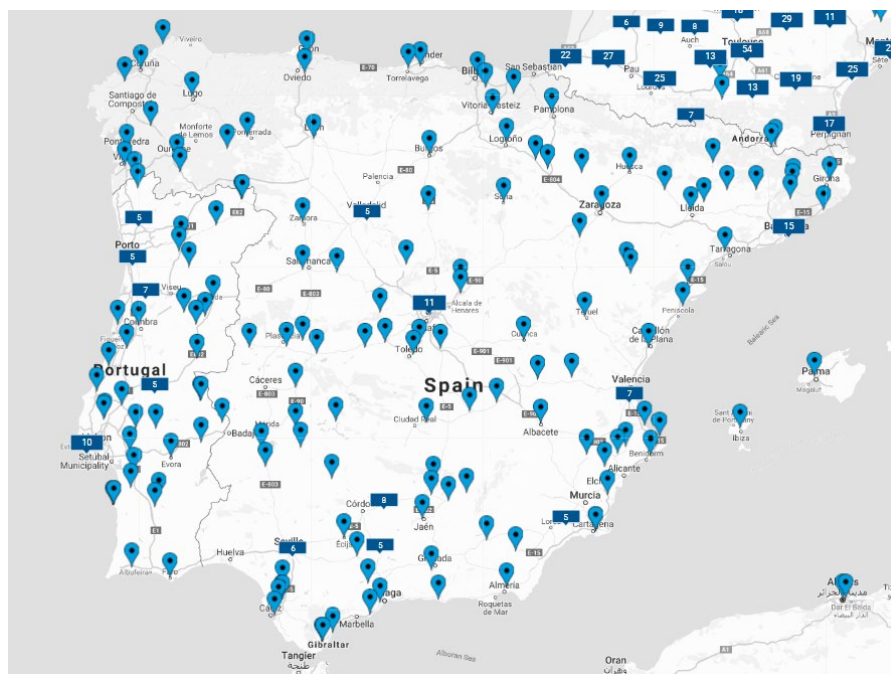


Figura 15. Mapa de distribuidores de hidrógeno gas en la península (Fuente: (44))

El transporte de hidrógeno se realiza por tierra o mar en tanques presurizados a 350 bar y sin excesivas dificultades (35). Por tanto, el suministro de hidrógeno no es un factor limitante en la localización de la planta.

8.2.2. Adquisidores de γ -butirolactona

El mercado nacional de γ -butirolactona se basa en su uso como intermediario para la producción de adhesivos y productos agrícolas, principalmente pesticidas y herbicidas.

- La compañía Syngenta tiene una de las mayores plantas manufactureras de productos agrícolas en O Porriño (Pontevedra), con una capacidad de hasta 8.000 toneladas anuales (45). Ejemplos de productos comerciales que emplean γ -butirolactona como disolvente son el insecticida MATCH® EC y el herbicida ACCRESTO®.
- La compañía Henkel dispone en Montornés del Vallés (Barcelona) una de las mayores y más avanzadas plantas de producción de compuestos adhesivos de Europa, con una capacidad de hasta 200.000 toneladas al año (46). La gama de productos LOCTITE® fabricados en dicha fábrica utilizan en su mayoría γ -butirolactona como disolvente.

El mercado internacional es más decisivo de cara a las ventas de γ -butirolactona, debido principalmente a la fabricación de electrolitos para baterías de Li-ion, con plantas de hasta 2 millones de baterías al mes (47), y a la producción de pirrolidonas.

Como la γ -butirolactona no presenta inconvenientes en su transporte y almacenamiento, la venta y envío no supone un factor limitante en la localización de la planta. No obstante, es recomendable su ubicación cerca de un puerto para facilitar el transporte internacional del producto vía marítima.

8.2.3. Selección de la localización

En vista a los apartados anteriores, los emplazamientos de la planta más adecuados serían:

- Tarragona, cercano a los distribuidores de 1,4-butanodiol y a la planta Henkel.
- San Roque, cercano a la planta de producción de anhídrido maleico.
- Pontevedra, cercano a la planta de Syngenta.

Todas las localidades disponen de un puerto cercano y de polígonos industriales con parcelas disponibles. El criterio de selección se basa en la minimización de costes asociados al transporte de materias, y en la tabla 6 se resumen las distancias a los principales distribuidores.

Tabla 6. Distancia de transporte de materias en km (Elaboración propia)

	Tarragona	San Roque	Pontevedra
Distribuidor BDO	Local	874	830
Distribuidor MA	874	Local	780
Distribuidor H ₂	Local	Local	Local
Adquisidor GBL (Syngenta/Henkel)	874/Local	780/874	Local/830

Por proximidades, la localización en Tarragona parece ser más adecuada que San Roque. Sin embargo, el transporte de anhídrido maleico en fase líquida es más caro y dificultoso que el transporte de γ -butirolactona o 1,4-butanodiol. Se concluye que tanto Tarragona como San Roque suponen un buen emplazamiento, cada una con sus ventajas e inconvenientes. Pontevedra se descarta por lejanía a los distribuidores de materia prima.

En este proyecto se decide priorizar el transporte de anhídrido maleico y se escoge San Roque como localización de la planta de producción de γ -butirolactona.

8.3. Polígono industrial

El polígono industrial seleccionado es el polígono de Guadarranque, en el municipio de San Roque (Cádiz). Creado en el año 1978 y reformado en el año 2016, cuenta con una superficie de 4.230.000 m² y ofrece infraestructuras y servicios destinados a la gran industria (48). Las empresas más importantes emplazadas en este polígono son:

- CEPSA Química S.A., productor y distribuidor de anhídrido maleico en España.
- GAS NATURAL FENOSA, fábrica de generación de electricidad de 400MW.
- SURMEYCA S.L., calderería industrial especializada en la industria naval y de construcción.

En la figura 16 se muestra la extensión delimitada del polígono, y en la tabla 7 una lista con las infraestructuras, servicios y comunicaciones de los que dispone.

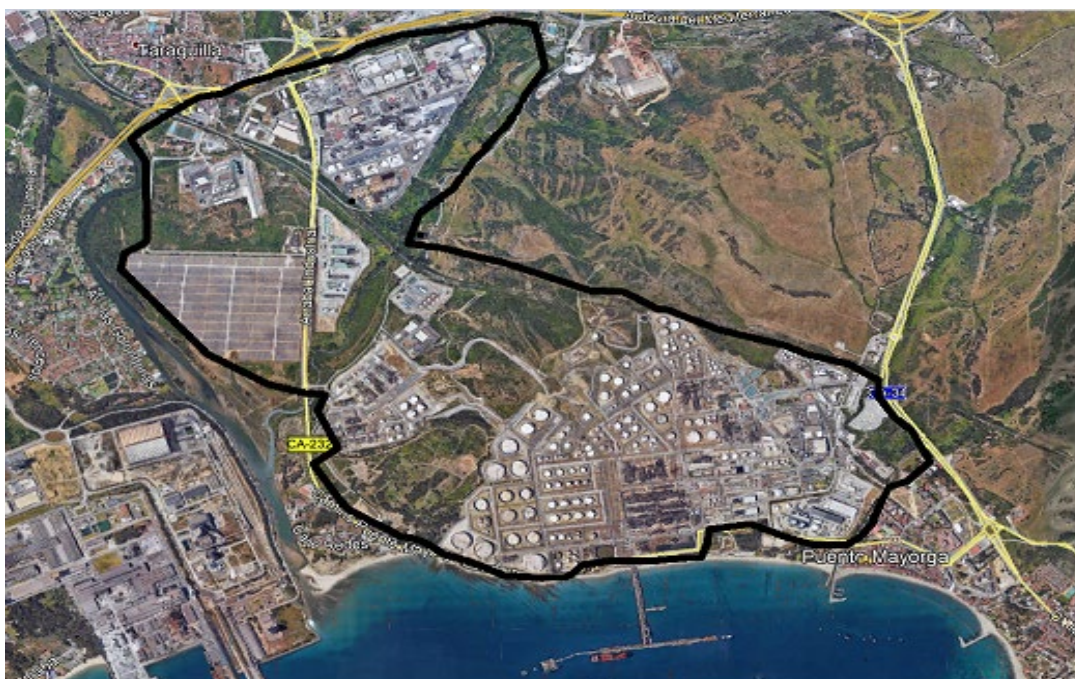


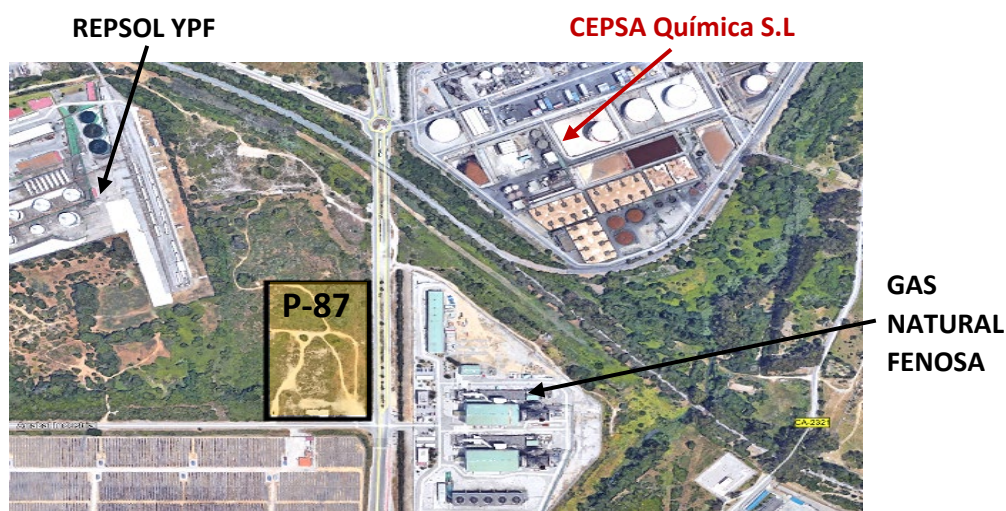
Figura 16. Superficie delimitada del polígono de Guadarranque (Fuente: Google Maps)

Tabla 7. Características del polígono de Guadarranque (Fuente: (48))

Infraestructuras	
Ancho viario principal	9 m, asfaltado
Anchos viarios secundarios	7 m, asfaltado
Abastecimiento	Sí
Saneamiento	E.D.A.R a 8 km
Suministro eléctrico	Sí
Servicios	
Recogida de basuras	Sí
Recogida de residuos	Sí
Servicio de hostelería	Sí
Red de incendios	Sí
Aeropuertos	
Gibraltar	11,9 km
Jerez	116,8 km
Puertos	
Bahía de Algeciras	12,8 km
Tarifa	42,4 km
Línea de ferrocarril	
San Roque – La Línea	5,2 km
Mercancías San Roque	8,0 km
Viales	
Acceso principal	A-7
Accesos secundarios	CA-232, CA-34

8.4. Selección de parcela

El polígono de Guadarranque dispone actualmente de 6 parcelas disponibles (49). Se decide disponer de la parcela P-87, resaltada en amarillo en la figura 17. Dispone de 17.019 m² y buen acceso, además de situarse muy próxima a la fábrica de CEPSA.

**Figura 17. Parcela seleccionada para la construcción de la planta (Fuente: Google Maps)**

8.5. Meteorología del lugar

Los datos meteorológicos oficiales son recopilados por la Agencia Española de Meteorología (AEMET) y están disponibles para uso público en la página web. Consisten en un histórico de medidas promedio mensuales desde 1981 hasta 2010 en diversas localizaciones a nivel nacional.

Las ubicaciones más cercanas a la localización de la planta de las cuales se puede obtener un histórico meteorológico son Tarifa (25 km) y los aeropuertos de Jerez de la Frontera (82 km) y Cádiz (86 km). Por falta de información relevante en los datos de Tarifa, se decide analizar la información proporcionada en Jerez de la Frontera, detallada en la tabla 8.

Tabla 8. Datos de la estación meteorológica del aeropuerto de Jerez de la Frontera (Fuente: (50))

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	10.7	16.2	5.2	78	77	6.4	0.0	1.0	4.1	2.4	10.6	184
Febrero	12.1	17.8	6.4	56	73	6.2	0.0	0.8	4.6	0.7	8.7	187
Marzo	14.5	20.8	8.3	37	67	5.2	0.0	1.1	2.9	0.1	9.8	224
Abril	16.0	22.2	9.8	49	64	5.7	0.0	1.5	1.8	0.0	7.6	251
Mayo	19.0	25.5	12.5	30	60	3.6	0.0	0.8	1.6	0.0	9.0	300
Junio	22.9	29.9	15.9	9	56	1.1	0.0	0.5	1.0	0.0	15.4	318
Julio	25.9	33.6	18.1	1	52	0.3	0.0	0.3	1.0	0.0	21.9	354
Agosto	26.1	33.5	18.7	2	55	0.2	0.0	0.4	0.8	0.0	19.9	334
Septiembre	23.7	30.4	17.0	27	61	2.2	0.0	1.2	1.4	0.0	12.7	250
Octubre	19.6	25.5	13.7	72	69	5.8	0.0	1.5	2.1	0.0	9.6	225
Noviembre	14.9	20.2	9.5	96	75	6.9	0.0	1.5	3.1	0.0	8.9	184
Diciembre	12.0	16.9	7.1	109	79	8.4	0.0	1.7	3.8	1.0	8.4	158
Año	18.1	24.4	11.9	570	66	52.5	0.0	12.5	28.0	4.0	142.1	2965

Siendo:

T: Temperatura media mensual/anual (°C)

TM: Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)

Tm: Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)

R: Precipitación mensual/anual media (mm)

H: Humedad relativa media (%)

DR: Número promedio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm.

DN: Número promedio mensual/anual de días de nieve.

DT: Número promedio mensual/anual de días de tormenta.

DF: Número promedio mensual/anual de días de niebla.

DH: Número promedio mensual/anual de días de helada.

DD: Número promedio mensual/anual de días de días despejados.

I: Número promedio mensual/anual de horas de sol

Respecto a la velocidad y distribución de los vientos, existe una recopilación de datos históricos de Tarifa (punto más cercano disponible a la localización de la planta) desde el año 2000 hasta el año 2012. En la figura 18 se muestra la velocidad media diaria del viento y de las rachas, mientras que en la figura 19 se representa la rosa de los vientos de la localidad. Se observa que las direcciones de levante W (20,2%) y poniente E (17,8%) son predominantes a lo largo del año.

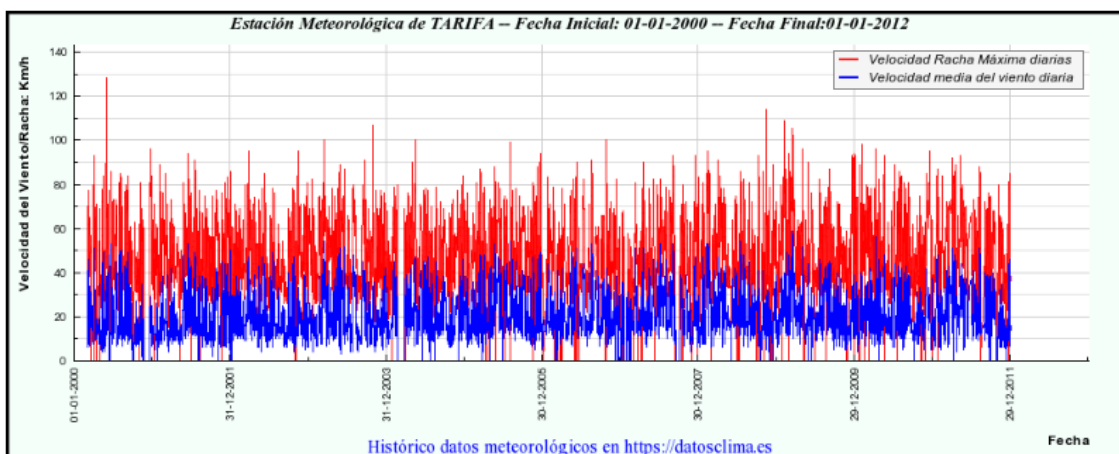


Figura 18. Histórico de velocidades medias anuales del viento en Tarifa (Fuente: (51))

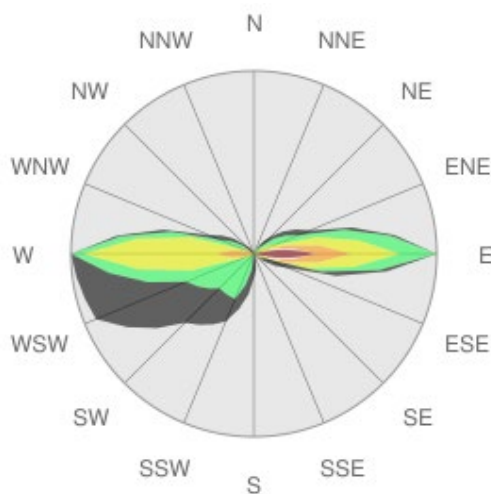


Figura 19. Rosa de los vientos de Tarifa en 2018 (Fuente: (52))

En la web, se pueden encontrar datos no oficiales de la meteorología de San Roque. Su análisis se detalla en el Anexo IV. Estudios con entidad propia, apartado 1.3.1.1.

8.6. Sismicidad

El estudio de riesgo sísmico de la ubicación de la planta ayuda a estimar las consecuencias de este fenómeno en la integridad estructural de los equipos e infraestructuras y los daños potenciales humanos. También permite adoptar medidas preventivas que reduzcan sus efectos.

En la figura 20 se presenta un mapa de riesgo sísmico de España en base a su peligrosidad facilitado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

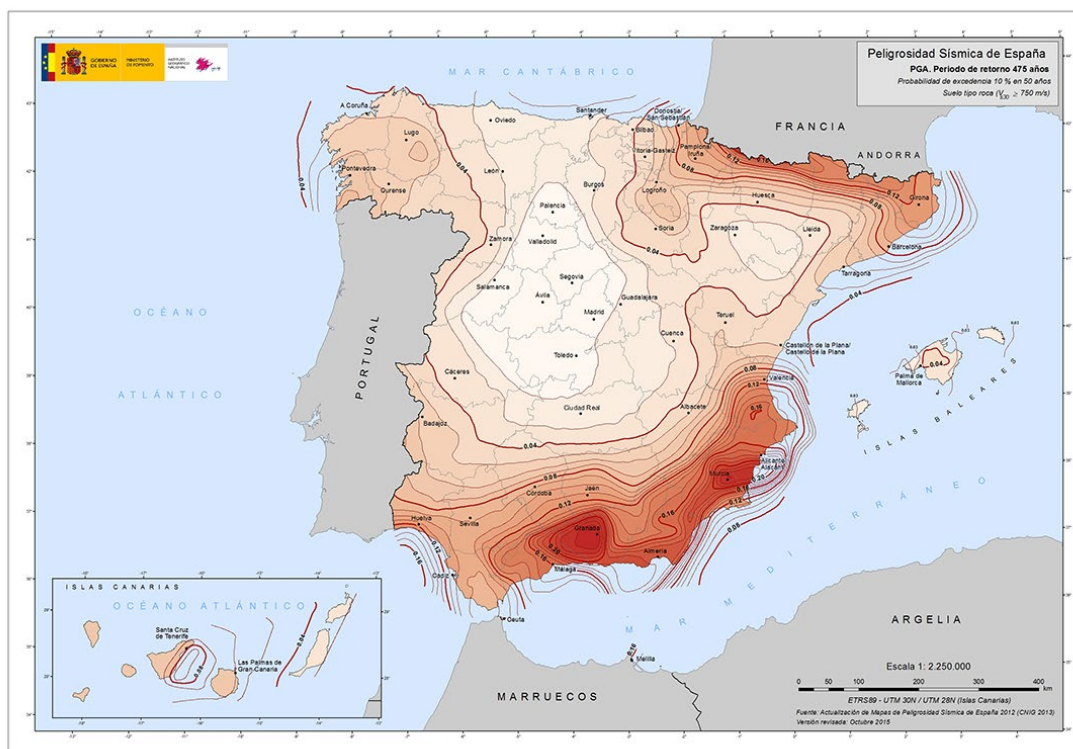


Figura 20. Mapa de peligrosidad sísmica de la Norma Sismorresistente NCSE-02 (Fuente: (53))

Se puede observar que el riesgo sísmico en el polígono y alrededores está clasificado como moderado, por lo que se deben de contemplar medidas de protección para prevenir cualquier tipo de accidente relacionado con este fenómeno.

9. Estudio de mercado

La demanda de γ -butirolactona a nivel global aumenta progresivamente con el descubrimiento de nuevas propiedades y aplicaciones. En los próximos 5 años, se espera que la tasa anual compuesta CAGR sea de un 6,2% (54).

En la figura 21 se muestra el crecimiento de la producción mundial de γ -butirolactona desde 1989, comienzo de su expansión a nivel industrial, hasta el año 2018. En la última columna se refleja la tasa de producción estimada en base al crecimiento continuo y el auge en la demanda del producto.

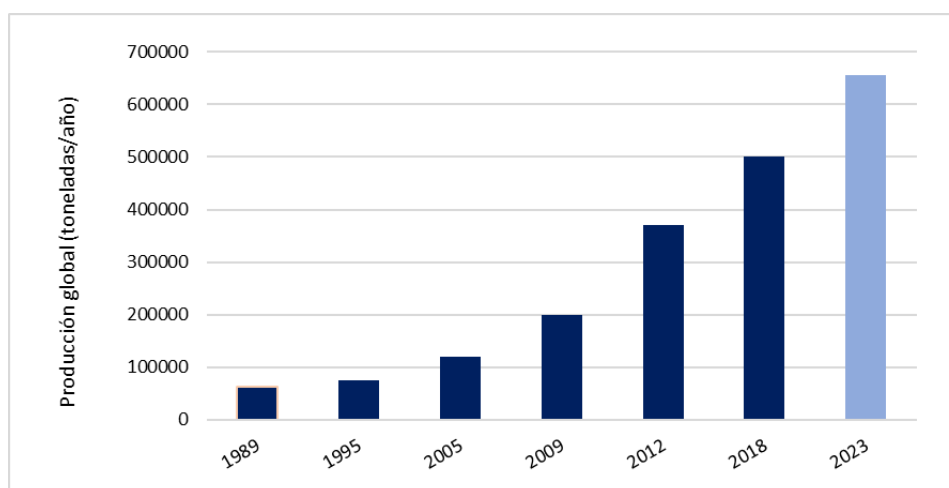


Figura 21. Evolución de la producción mundial de γ -butirolactona (Elaboración propia a partir de: (1) (3) (54) (55) (56))

Como el principal uso de la GBL es como intermediario en la síntesis de otros compuestos, su demanda es directamente proporcional a la demanda de los productos finales. La estructura de consumo global de GBL en 2005 se representa en la figura 22.

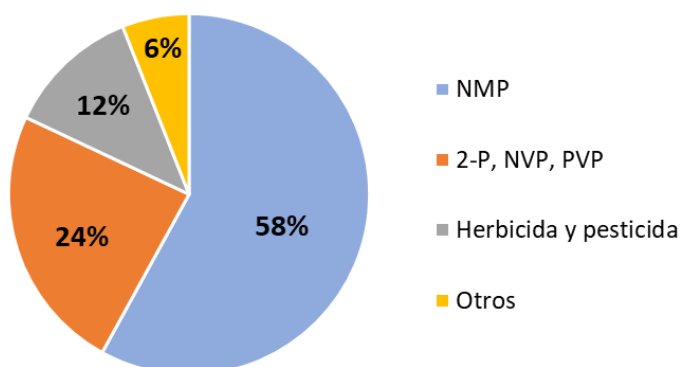


Figura 22. Aplicaciones de la GBL a nivel mundial en 2005 (Elaboración propia a partir de: (56))

De la figura anterior se extrae que la producción de GBL se destina principalmente a la síntesis de pirrolidonas, especialmente N-metilpirrolidona (NMP). El siguiente uso, ya bastante minoritario, es como disolvente en la producción de herbicidas, pesticidas y agentes agroquímicos. El 6% restante, indicado como Otros, corresponde a la producción de baterías de Li-ion en la industria del automóvil, tintas de impresora, adhesivos y productos farmacéuticos.

La producción y consumo de GBL se concentra principalmente en Estados Unidos, Europa Occidental y Asia Pacífico (1) (3) (21) (56). Las principales compañías manufactureras de GBL son:

- EEUU: BASF, Ashland, Lyondell Basell
- Japón: Mitsubishi Chemical Co., Idemitsu Petrochemical
- Europa: BASF (Alemania), Lyondell Basell (Países Bajos), AkzoNobel (Países Bajos)
- China: Yunfeng Chemical Factory, Shengli Oilfield Dongsheng Xingrun Chemical Co.

En la figura 23 se muestran las estructuras de consumo en dichas regiones, y se puede observar la diversidad de aplicaciones por región. En EEUU y Europa, se utiliza la GBL para la fabricación de pirrolidonas, tintas y productos agrícolas; en Japón se destina casi exclusivamente para la producción de electrolitos en las baterías de Li-ion; y en China se utiliza mayoritariamente en síntesis de productos farmacéuticos.

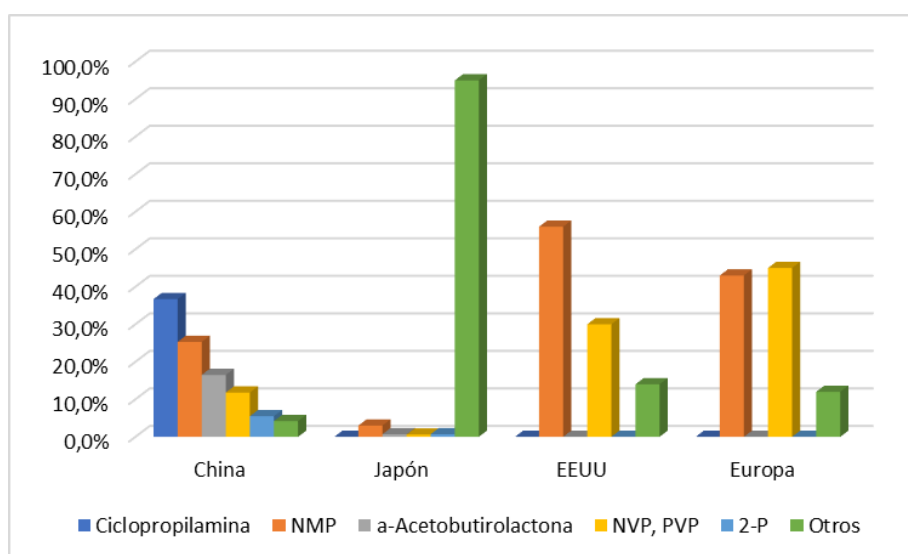


Figura 23. Aplicaciones de GBL en 2005 de los principales países productores (Elaboración propia a partir de (56))

9.1. Mercado de las principales aplicaciones de GBL

9.1.1. Pirrolidonas

Las pirrolidonas son compuestos orgánicos obtenidos de la reacción de γ -butirolactona con amoníaco y aminas. Son líquidos incoloros de olor característico, empleados en la industria como disolventes en la extracción de acetileno, butadieno, isopropeno e hidrocarburos aromáticos; en los electrolitos de baterías de Li-ion; en la manufactura de recubrimientos orgánicos y en la síntesis de tintas, fragancias y productos farmacéuticos (1) (57).

Con datos del 2014, el mercado global de las pirrolidonas asciende a 1.750 millones de USD y 460.000 toneladas anuales, y se espera un crecimiento acelerado entre 2015 y 2020 esquematizado en la figura 24 (58).

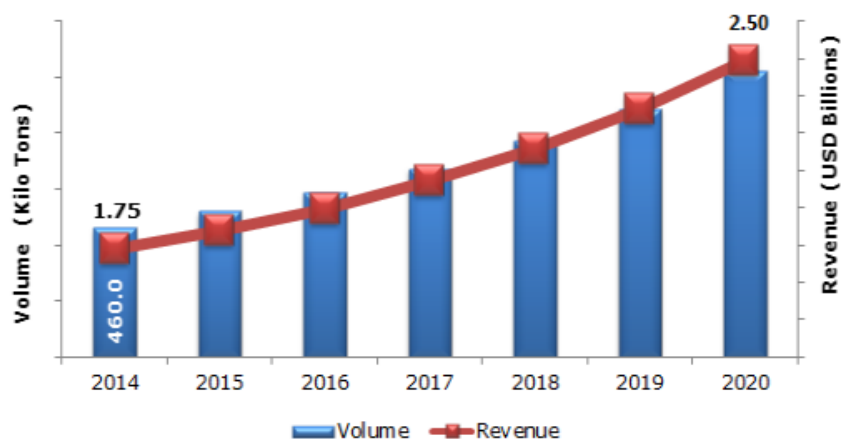


Figura 24. Mercado de las pirrolidonas en 2014 – 2020 (Fuente: (58))

La N-metilpirrolidona (NMP) es el principal producto obtenido de la GBL. La producción total en 2012 es de 275.000 toneladas (17), con un valor bursátil de 1.070 millones de dólares americanos. Se espera que durante el período de 2017-2021 el mercado incremente en hasta un 60% debido al aumento en la demanda de gas natural, en el consumo de disolventes “verdes” y en la síntesis de productos farmacéuticos derivados de la NMP (59).

9.1.2. Productos agrícolas

Se emplean en el mundo aproximadamente 3,2 millones de toneladas de productos agrícolas, principalmente pesticidas, herbicidas y fungicidas. Europa es el principal productor con compañías como BASF SE (Alemania), Cheminova A/S (Dinamarca) e ISAgro Spa (Italia) (60).

El mercado asciende hasta 13.640 millones de dólares en Europa, y se espera un crecimiento entre 2017 y 2022 del 4,17% (61). El mayor incremento en la demanda proviene de los países en desarrollo de América del Sur (Brasil y Argentina) y China. En la figura 25 se muestra el incremento en consumo y producción de pesticidas a nivel mundial.

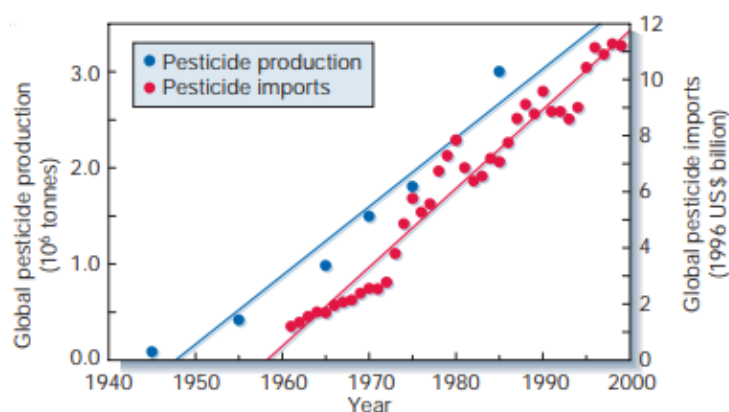


Figura 25. Mercado de pesticidas a largo plazo (Fuente: (62))

Se estima que este incremento en la demanda repercutirá directamente al mercado de la GBL y de sus derivados, pues está demostrada su efectividad como disolvente en dichos productos y el bajo impacto ambiental que provocan con respecto a sus alternativas (63) (64).

9.1.3. Baterías de Li-ion

Las baterías de Li-ion, también conocidas como Litio-ion, son baterías recargables de alta densidad energética empleadas mayoritariamente en dispositivos portátiles, como ordenadores y smartphones. En los últimos años, este tipo de baterías ha aumentado en popularidad en la industria del automóvil pues ofrecen una alternativa más rentable frente a las baterías de níquel empleadas en los coches eléctricos, además de ser más pequeñas y ligeras.

Japón domina el mercado de baterías de Li-ion con las compañías Panasonic y Toshiba Corporation a la cabeza, seguido de cerca por las empresas coreanas Samsung SDI y LG Chem Power. Se estima que el valor bursátil actual es de 30.186 millones de dólares y será de 100.433 millones de dólares en 2025, a un ritmo de crecimiento del 17,1% anual (65).

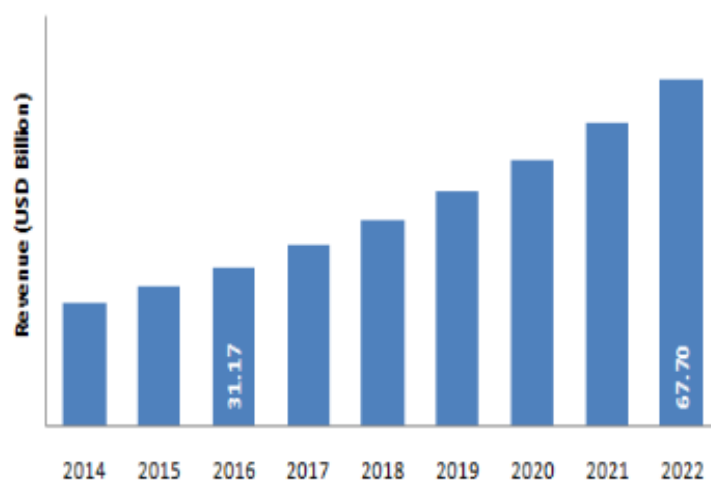


Figura 26. Mercado de las baterías de Li-ion en 2014 – 2020 (Fuente: (65))

El aumento del mercado de baterías de Li-ion se debe, fundamentalmente, al incremento en la demanda de smartphones (sobre todo en países en vías de desarrollo) y de coches eléctricos, pues ofrecen una alternativa a los coches diésel y de gasolina con una reducción drástica de emisión de gases de efecto invernadero. Además, los procesos de investigación en este campo son subvencionados por los gobiernos y autoridades de muchas naciones, incentivando la producción en masa de este tipo de vehículos (66) (67).

En 2018, la compañía Tesla puso en funcionamiento la mayor fábrica de coches eléctricos y baterías de Li-ion en el mundo, situada en Nevada (EEUU) y con una capacidad de producción de baterías de Li-ion para alimentar a 500.000 vehículos eléctricos al mes (68). Algunos modelos de baterías que se fabrican, en concreto los modelos LEV50 y LEV50-4, contienen γ -butirolactona como cosolvente en el electrolito, lo que repercute directamente en la demanda de GBL (69) (70).

9.1.4. Productos farmacéuticos

Los productos derivados de la γ -butirolactona que se emplean en medicina son la ciclopropilamina y α -acetobutirolactona, siendo China el principal país productor y exportador de dichas sustancias (56).

El incremento en la demanda de ciclopropilamina proviene de la producción del fármaco antibiótico Ciprofloxacina®, que se usa para tratar varios tipos de infecciones bacterianas (71). En 2008, la demanda anual de γ -butirolactona para la producción de ciclopropilamina era de 12.700 toneladas (56).

Con respecto al α -acetobutirolactona, su demanda proviene de la síntesis de vitamina B₁, también conocida como tiamina (72). La producción anual de este compuesto es de 600.000 toneladas y se espera un crecimiento de hasta un 8% en los próximos años (56).

9.2. El mercado de GBL en España

A nivel nacional, el mercado de γ -butirolactona es bastante discreto al no existir producción local ni excesiva demanda de este compuesto.

9.2.1. Situación actual

La mayoría de la γ -butirolactona distribuida en España es importada desde EEUU, China y Japón, mostrándose en la figura 27 las cantidades importadas anualmente desde 2012 hasta 2017.

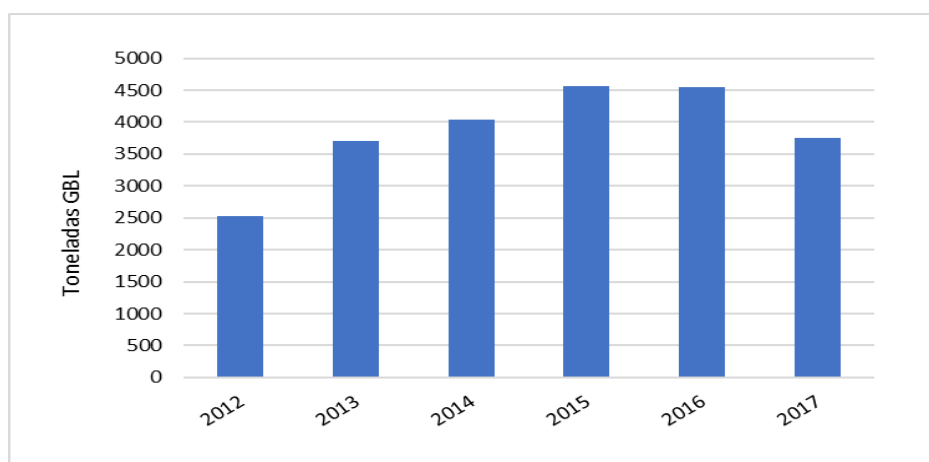


Figura 27. Importación de GBL en España (Elaboración propia a partir de: (73))

De la figura anterior se extrae que la demanda anual de butirolactona promedio es de 4.000 toneladas. Esto implica que la planta de producción de este proyecto, con una capacidad de 15.000 toneladas anuales, puede cubrir toda la demanda nacional anual.

La principal aplicación que tiene en España es como disolvente en la producción de productos agrícolas y productos adhesivos, y tal y como se observa en la figura 28, la industria agroquímica y la industria de otros productos químicos representan un 9,5% del total.

Las empresas que disponen de plantas de producción en España y que utilizan γ -butirolactona como disolvente son Syngenta, localizada en O Porriño (Pontevedra) y especializada en productos agroquímicos; y Henkel, localizada en Montornés del Vallés (Barcelona), que fabrica productos adhesivos y detergentes. No hay más información al respecto de otras empresas que utilicen GBL a pesar de que, dada la demanda anual, es de esperar que exista alguna más.

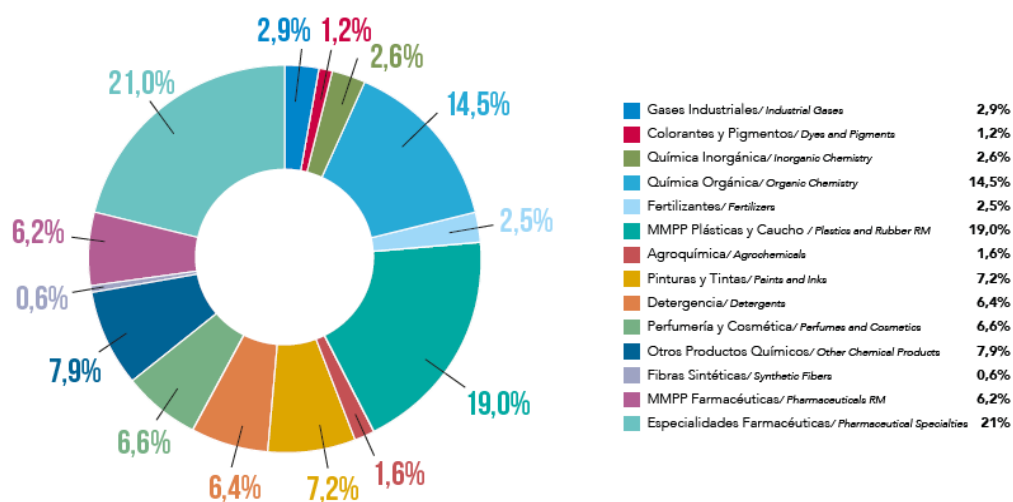


Figura 28. Sector de la industria en España (Fuente: (74))

9.2.2. Proyección futura

En España, el mercado nacional de γ -butirolactona podría cobrar más relevancia principalmente en el sector automovilístico. La compañía PSA, que dispone de plantas de producción de vehículos en Vigo, Madrid y Zaragoza, está comenzando un proceso de reforma para incluir en 2020 en sus fábricas las versiones eléctricas de todos los modelos comerciales (75).

Esta compañía, que por volumen de producción es la segunda mayor de Europa y cuenta en Vigo con su principal planta de producción, puede posicionar a Galicia como futura localización de fábricas de baterías de Li-ion. Este hecho sería interesante si se fabrican los modelos que contienen este compuesto en sus electrolitos, aumentando la demanda del mismo.

10. Control e instrumentación

Los procesos de producción en continuo están diseñados para operar en estado estacionario bajo unas condiciones óptimas de operación que permiten alcanzar el objetivo de producción de la forma más eficiente posible. De producirse algún cambio en las condiciones de operación, el proceso quedaría alterado y no sólo no se cumplirían los requisitos de producción, sino que puede derivar a una situación en la que se vea comprometida la seguridad de la planta y de los trabajadores.

El estudio de las consecuencias en el proceso de un cambio en las variables básicas de operación y, en base a ello, la implantación de sistemas automáticos de control e instrumentación, resultan fundamentales para reducir y contrarrestar los efectos de las perturbaciones y garantizar la seguridad y productividad de la planta química.

10.1. Funciones de un sistema de control

En un proceso dinámico y susceptible a perturbaciones, típico de la industria química, las funciones básicas que debe cumplir un sistema de control son (76):

- Mantener la estabilidad de las condiciones de operación en el punto de proceso deseado, de tal manera que se cumplan los balances de materia y energía.
- Garantizar una operación segura del proceso, manteniendo las variables dentro de los límites aceptables.
- Controlar las emisiones de contaminantes al medio según las normativas ambientales.
- Suministrar información al operador de las condiciones de operación y los medios para ajustarlas.
- Automatizar las operaciones empleando instrumentación que permita realizar las operaciones de control sin intervención humana.
- Operar de forma segura, tanto para el personal como para las infraestructuras.

10.2. Aspectos de diseño de un sistema de control

A la hora de diseñar un sistema de control, es necesario estipular cuáles son los objetivos que debe cumplir y, en base a ello, determinar cuáles son los factores determinantes que permitan alcanzar dichos objetivos. En un proceso químico, los factores determinantes recurrentes a estudio son (77):

1. La selección de variables.
2. La selección de la estrategia de control.
3. El diseño del controlador.

10.2.1. Selección de variables

La monitorización del funcionamiento de un proceso se lleva a cabo midiendo los valores de variables que representan los objetivos de control, como pueden ser el caudal, la temperatura, la presión o la concentración de componentes en una corriente. La elección de una variable de control adecuada es primordial para lograr un buen sistema de control de un proceso.

Se entiende por variable controlada (VC) a la variable seleccionada para monitorizar y llevar a cabo el control, y por variable manipulada (VM) a la variable sobre la que se actúa (mediante un elemento de control) de manera que permita modificar los valores de la variable controlada en caso de producirse alguna perturbación en el sistema.

10.2.2. Selección de la estrategia de control

La estrategia de control es la configuración de los elementos de control para poner en contacto las medidas o variables controladas con las variables manipuladas existentes en un proceso. Las tres estrategias de control básicas en un sistema de lazo cerrado son (77):

- Control feedback: tipo de control que actúa sobre la variable manipulada una vez que se ha producido la perturbación en el proceso. El objetivo es mantener las variables controladas en los valores deseados, que se denominan puntos de consigna (SP). Al no ser un control anticipativo, la acción correctora requiere de un tiempo de respuesta desde que se detecta la perturbación hasta que se actúa en consecuencia. La figura 29 muestra un diagrama general de este tipo de estrategia de control.

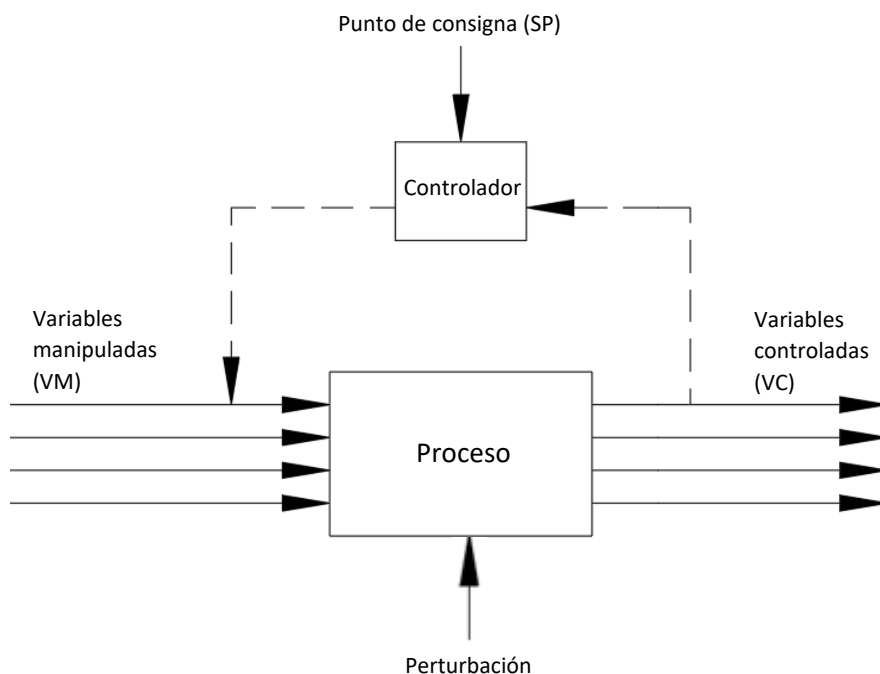


Figura 29. Esquema de un control feedback (Elaboración propia)

- Control feedforward: estrategia de control anticipativa que actúa en la variable manipulada basándose en la medición directa de las perturbaciones y los efectos que puedan provocar en la variable controlada, por lo que se debe disponer de suficiente información para poder actuar eficazmente. En la figura 30 se muestra un esquema de control de esta configuración.

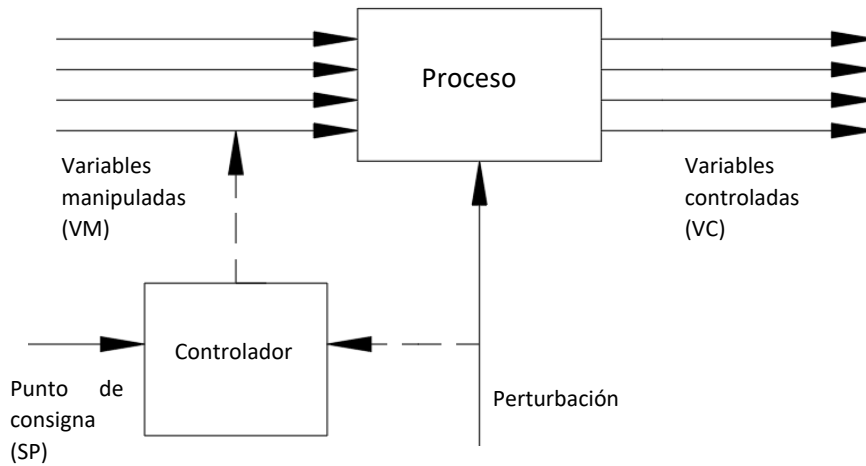


Figura 30. Esquema de un control feedforward (Elaboración propia)

- Control predictivo o deductivo: variante del tipo de control feedback que utiliza medidas indirectas de las variables controladas y que, en función de los balances de materia y energía o de correlaciones matemáticas específicas, modifica los valores de las variables manipuladas para contrarrestar los efectos de las perturbaciones. Suele emplearse cuando no es posible realizar la medición directa de los valores de la variable controlada, y se presenta un esquema básico en la figura 31.

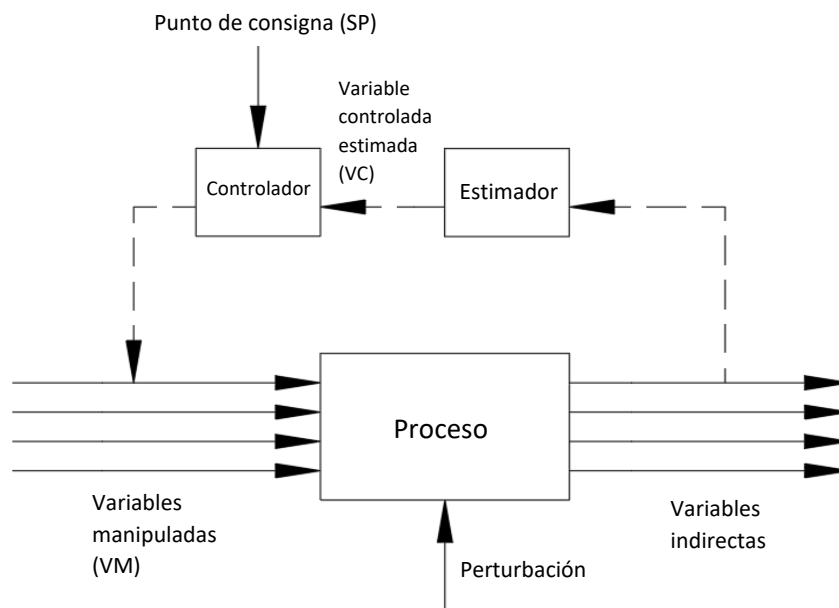


Figura 31. Esquema de un control predictivo o deductivo (Elaboración propia)

10.2.3. Diseño del controlador

Los controladores son los elementos del lazo que reciben datos de la variable controlada obtenidos mediante equipos de medida y los comparan con el punto de consigna designado. Suelen estar situados en una sala de control, son capaces de ejecutar operaciones matemáticas complejas y se pueden clasificar en (77):

- Controladores lógicos programables (PLC), procesadores de tratamiento de datos conectados a los dispositivos de entrada y salida.
- Sistemas de control distribuido (DCS), conjunto de procesadores programados para realizar las funciones de control, recopilar datos históricos, predecir comportamientos y generar una extensa base de datos.

En el caso en que exista un error entre la variable controlada y el punto de consigna, el controlador indica a un elemento de control que lleve a cabo la acción correctora oportuna. En función del tratamiento del error para estimar dicha acción, se distinguen tres tipos de control (77):

- Control proporcional (P): es el algoritmo de control más sencillo. Elimina las oscilaciones de los lazos de control feedback, pero no necesariamente devuelve el valor de la variable controlada al punto de consigna, generando un error permanente conocido como *offset*. La ecuación general que rige el comportamiento de un sistema de control proporcional es:

$$vm = K_C \varepsilon + b \quad (6)$$

Siendo:

vm = valor de la variable manipulada

K_C = ganancia del controlador

b = salida del controlador cuando el error es cero (bias)

ε = error entre la variable controlada y el punto de consigna, definido como:

$$\varepsilon = SP - VC \quad (7)$$

- Control integral (I): el algoritmo de control integral actúa en la dirección de eliminar el error producido por la perturbación, evitando el inconveniente del offset de la acción proporcional.

El tratamiento del error es por integración en un período de tiempo determinado, por lo que la salida no cambia instantáneamente y es considerablemente más lenta que la acción proporcional. Los parámetros que determinan la velocidad de actuación son la magnitud del error y el tiempo integral (T_i), definido como el tiempo que tarda en cambiar la salida en una cantidad igual al error. La ecuación que rige este algoritmo es:

$$vm = \frac{1}{T_i} \int_{t_1}^{t_2} \varepsilon dt + vm_0 \quad (8)$$

Siendo vm_0 la salida del controlador antes de aplicar la acción. Como es muy lento, el control integral suele emplearse de manera conjunta con otro tipo de acción de control.

- Control derivativo (D): el algoritmo de control derivativo actúa en presencia de una variación en el error, corrigiéndola proporcionalmente con la misma velocidad con la que se produce. Proporciona una acción inmediata y enérgica, previendo hacia donde se encamina el proceso al observar la velocidad de cambio del error con el tiempo. La ecuación que rige este algoritmo es:

$$vm = T_D \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (9)$$

Siendo T_D el tiempo derivativo. Es un control muy sensible al ruido, que se debe filtrar y eliminar en la medida de lo posible. Al no reconocer nunca el punto de consigna y únicamente modificar las variaciones del error, no suele emplearse por separado, sino que se implementa a otras acciones de control.

En base a los tres tipos de control básico, se pueden obtener algoritmos de control combinados que complementan entre sí la acción correctora. Los más utilizados en la industria química son el control proporcional-integral y el control proporcional-integral-derivativo (77):

- Control proporcional-integral (PI): surge de combinar el efecto del control proporcional con el control integral. Proporciona un tiempo de respuesta mucho más corto que un controlador integral solo, pero un poco mayor que el control proporcional. A cambio, permite eliminar el offset pues el bias se ajusta automáticamente para contrarrestar cualquier error. La ecuación de este algoritmo es la siguiente:

$$vm = K_C \left(\varepsilon + \frac{1}{T_i} \int_{t_1}^{t_2} \varepsilon dt \right) \quad (10)$$

Es ampliamente utilizado en sistemas de control de temperatura, de presión y de flujo que presenten ruido, excesivo tiempo muerto o bajas capacitancias.

- Control proporcional-integral-derivativo (PID): combinación de los tres controles básicos anteriormente presentados, que actúa rápidamente para eliminar el offset y reducir las oscilaciones cuando se presenta un error, manteniendo el estado estacionario. Es el más robusto, pero es sensible al ruido y el más caro. La ecuación característica de este algoritmo es:

$$vm = K_C \left(\varepsilon + \frac{1}{T_i} \int_{t_1}^{t_2} \varepsilon dt - T_D \frac{d\varepsilon}{dt} \right) \quad (11)$$

Para seleccionar el algoritmo de control más apropiado para un proceso, se plantea el siguiente diagrama de flujo en base a los comportamientos de cada uno:

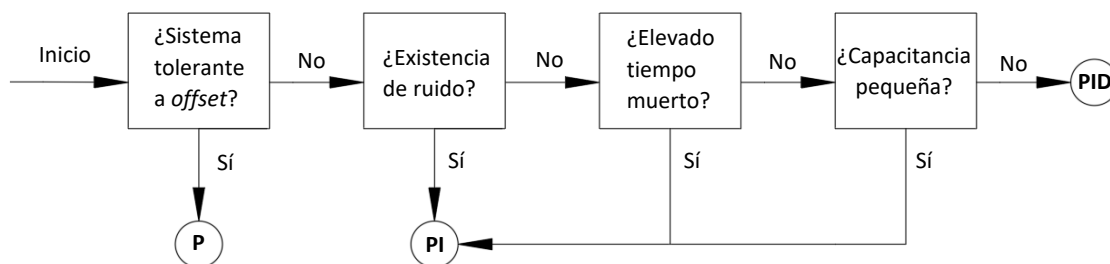


Figura 32. Selección del algoritmo de control (Elaboración propia)

10.3. Elementos y simbología de un sistema de control

Los elementos básicos que conforman un sistema de control son (77):

- Elemento primario de control (EPC) o sensor: instrumento empleado para medir una variable de un proceso, bien de manera directa (datos de la variable controlada) o bien de manera indirecta (datos de una variable relacionada con la variable controlada).
- Sistema de transmisión de señal: elementos que captan la variable del proceso y la transforman en una señal estandarizada que permite su transmisión hacia un indicador o un controlador.
- Controlador: definido en el apartado 10.3.3.
- Elemento final de control (EFC) o actuador: dispositivo capaz de interferir de manera directa en las variables controladas según indicación del controlador. En la industria química, suele ser una válvula de control.

La sucesión de los elementos anteriores en orden constituye lo que se conoce como lazo de control. Si el lazo de control presenta retroalimentación, esto es, actúa en consecuencia modificando los datos de entrada a partir de los datos de salida de un proceso determinado, se denomina lazo de control cerrado. Este tipo de lazo es el empleado en el presente trabajo.

Para designar los lazos de control, se emplea la nomenclatura presentada por la normativa estándar ISA-S5.1: "Identificación y símbolos de instrumentación", en el que cada instrumento es representado mediante una etiqueta con un código alfanumérico que determine su funcionamiento y un símbolo geométrico que indique su localización en la planta. Además, se presenta la simbología estándar de las distintas señales de conexión de los elementos del lazo.

En la figura 33 se muestra un esquema de las etiquetas, mientras que los símbolos y nomenclatura empleados en los lazos de control de este proyecto se presentan en la tabla 9.

La información detallada de los lazos de control que se diseñan en este trabajo se representa en el diagrama P&ID del Documento II. Planos. En el apartado siguiente se define para cada lazo, en función de los criterios mencionados en los apartados anteriores, lo siguiente: objetivos de control, variables que se seleccionan, principales elementos de los que se componen, estrategias de control y algoritmos empleados.

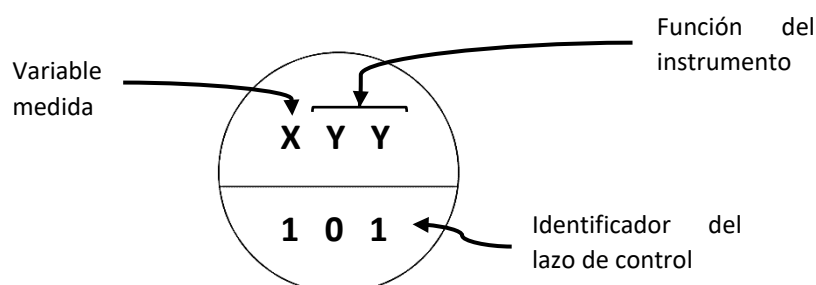





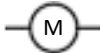






Figura 33. Esquema de la etiqueta de un instrumento genérico según ISA-S5.1 (Elaboración propia)

Tabla 9. Simbología y nomenclatura empleada en este proyecto según la normativa ISA-S5.1

Letras de identificación (XYY)		
Letra	Primera posición (X)	Segunda o tercera posición (Y)
A	Analítica (Composición)	Alarma
C	-	Control
E	-	Elemento
F	Caudal	-
H	-	Alto
I	-	Indicador
L	Nivel	Bajo
P	Presión	-
T	Temperatura	Transmisor
V	-	Válvula
Y	-	Relé
Localización del instrumento		
	Equipo en planta	
	Equipo en una sala de control	
	Equipo en un rack separado	
Elementos		
	Válvula de corte	
	Válvula de control con accionador de diafragma	
	Motor eléctrico	
	Equipo de lectura de medidas y funciones de control (controlador)	
Señales		
	Conexión directa	
	Señal eléctrica (4 – 20 mA)	
	Señal neumática (20 - 100 kPa)	

10.4. Descripción de los sistemas de control de la planta

10.4.1. Sección 100: acondicionamiento de reactivos

10.4.1.1. Lazos de control LIC/101 y LIC/102

Los lazos de control 101 y 102 regulan el flujo de las corrientes de alimentación al sistema de los reactivos 1,4-butanodiol y anhídrido maleico mediante un control de nivel de líquido en los evaporadores E-101 y E-102, respectivamente. De esta manera, se fija la entrada de ambos reactivos en la proporción adecuada para el correcto funcionamiento del sistema reactivo.

Tabla 10. Detalles del lazo de control LIC/101

Objetivo de control:	Regular el caudal de entrada de 1,4-butanodiol al sistema mediante un control de nivel de líquido en el evaporador E-101.
Variable controlada (VC):	Nivel de líquido en el evaporador E-101 (SP = 0,413 m).
Variable manipulada (VM):	Flujo de entrada de 1,4-butanodiol (corriente 1).
Elementos principales:	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor de nivel LE/101 - Transmisor de señal de nivel LT/101 - Alarmas de nivel alto y bajo LAH/101 y LAL/101 - Controlador-indicador LIC/101 - Relé convertidor de señal LY/101 - Válvula de control de caudal LVC/101
Estrategia de control:	Control feedback.
Algoritmo de control:	Control PID. La capacitancia es considerable y los retardos pequeños, por lo que se debe implementar un control PID que acelere la respuesta.

Tabla 11. Detalles del lazo de control LIC/102

Objetivo de control:	Regular el caudal de entrada de anhídrido maleico al sistema mediante un control de nivel de líquido en el evaporador E-101.
Variable controlada (VC):	Nivel de líquido en el evaporador E-102 (SP = 0,280 m).
Variable manipulada (VM):	Flujo de entrada de anhídrido maleico (corriente 4).
Elementos principales:	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor de caudal LE/102 - Transmisor de señal de caudal LT/102 - Alarmas de nivel alto y bajo LAH/102 y LAL/102 - Controlador-indicador LIC/102 - Relé convertidor de señal LY/102 - Válvula de control de caudal LVC/102
Estrategia de control:	Control feedback.
Algoritmo de control:	Control PID. La capacitancia es considerable y los retardos pequeños

10.4.1.2. Lazos de control FIC/103 y FIC/104

Los lazos de control 103 y 104 regulan el flujo de las corrientes de salida de los evaporadores E-101 y E-102, modificando para ello los caudales de entrada de vapor saturado de manera que se produzca la evaporización completa de los reactivos.

Tabla 12. Detalles del lazo de control FIC/103

Objetivo de control:	Obtener la evaporación completa del 1,4-butanodiol regulando el flujo de entrada de vapor saturado.
Variable controlada (VC):	Flujo de vapor de la corriente a la salida del evaporador E-301 (corriente 2).
Variable manipulada (VM):	Caudal de entrada de hps al evaporador.
Elementos principales:	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor de caudal FE/103 - Transmisor de señal de caudal FT/103 - Controlador-indicador FIC/103 - Relé convertidor de señal FY/103 - Válvula de control de caudal FVC/103
Estrategia de control:	Control feedback.
Algoritmo de control:	Control PI. Es un proceso de respuesta rápida, con una capacitancia muy pequeña al no existir almacenamiento.

Tabla 13. Detalles del lazo de control FIC/104

Objetivo de control:	Obtener la evaporación completa del anhídrido maleico regulando el flujo de entrada de vapor saturado.
Variable controlada (VC):	Flujo de la corriente a la salida del evaporador E-102 (corriente 5).
Variable manipulada (VM):	Caudal de entrada de mps al evaporador.
Elementos principales:	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor de caudal FE/104 - Transmisor de señal de caudal FT/104 - Controlador-indicador FIC/104 - Relé convertidor de señal FY/104 - Válvula de control de caudal FVC/104
Estrategia de control:	Control feedback.
Algoritmo de control:	Control PI. Es un proceso de respuesta rápida, con una capacitancia muy pequeña al no existir almacenamiento.

10.4.1.3. Lazos de control PIC/105 y FIC/106

Los lazos de control 105 y 106 regulan la presión de las corrientes de salida de los compresores K-101 y K-102, respectivamente. La acción correctora se realiza directamente sobre el motor de los compresores, modificando la potencia suministrada.

Tabla 14. Detalles del lazo de control PIC/105

Objetivo de control:	Mantener la presión de salida en punto de consigna (SP = 1,5 bar).
Variable controlada (VC):	Presión de la corriente a la salida del compresor K-101 (corriente 3).
Variable manipulada (VM):	Potencia suministrada por el compresor.
Elementos principales:	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor de presión PE/105 - Transmisor de señal de presión PT/105 - Controlador-indicador PIC/105 - Motor M/105 del compresor K-101
Estrategia de control:	Control feedback.
Algoritmo de control:	Control PID. El control de presión en gases se caracteriza por poseer elevada capacitancia y tiempo muerto pequeño.

Tabla 15. Detalles del lazo de control PIC/106

Objetivo de control:	Mantener la presión de salida en punto de consigna (SP = 1,5 bar).
Variable controlada (VC):	Presión de la corriente a la salida del compresor K-102 (corriente 6).
Variable manipulada (VM):	Potencia suministrada por el compresor.
Elementos principales:	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor de presión PE/106 - Transmisor de señal de presión PT/106 - Controlador-indicador PIC/106 - Motor M/106 del compresor K-102
Estrategia de control:	Control feedback.
Algoritmo de control:	Control PID. El control de presión en gases se caracteriza por poseer elevada capacitancia y tiempo muerto pequeño.

10.4.1.4. Alarmas PAH/107 y PAL/108

La alarma PAH/107 es un dispositivo on-off (encendido al detectar elevada presión, apagado al no detectarla) que se emplea en el tanque de mezcla V-101 para alertar a los operarios de una situación de sobrepresión en el recipiente. De forma análoga funciona la alarma PAL/108, solo que se activa de detectar valores muy por debajo de la presión normal de operación.

10.4.1.5. Válvulas de alivio de gases PSV/109, PSV/110 y PSV/111

Las válvulas de alivio son elementos de seguridad que se instalan en los equipos que trabajan con gases y/o puedan estar expuestos a sobrepresiones, debidas principalmente a condiciones anormales de operación. Las válvulas de alivio 109 y 110 se sitúan en los evaporadores E-101 y E-102 respectivamente, pues emplean vapores de agua a elevada presión y manejan gases en el interior de la carcasa. La válvula de alivio 111 está situada en el tanque de mezcla V-101. Todas las corrientes de alivio son destinadas a la antorcha.

10.4.1.6. Indicadores PI/112, PI/113 y PI/114

Los indicadores son instrumentos encargados de recopilar información acerca de las variables de proceso de una determinada corriente. Son útiles para controlar que el proceso opere adecuadamente, pero no ejercen de sistema de control automático ante perturbaciones.

Los indicadores PI/112 y PI/113 se conectan por orificios a la carcasa de los evaporadores E-101 y E-102 respectivamente. El indicador PI/114 se instala en el tanque de mezcla para monitorizar la presión en su interior.

10.4.2. Sección 200: zona de reacción

En la sección 200 no se instala ningún lazo de control, puesto que se regula el sistema reactivo manipulando los flujos de entrada de las distintas materias primas y la corriente de recirculación.

10.4.2.1. Alarmas TAH/201, TAL/202, PAH/203

La alarma TAH/201 es un sistema on-off que se emplea en el reactor R-201 para alertar a los operarios de una situación de temperatura elevada en el recipiente, lo que implica un funcionamiento incorrecto y un sistema reactivo desequilibrado. De igual manera, la alarma TAL/202 indica que la temperatura está por debajo de la temperatura normal de operación.

La alarma PAH/203 se instala para alertar de una presión superior a la normal de operación.

10.4.2.2. Válvula de alivio de gases PSV/204

Como el reactor R-201 es un recipiente cerrado que opera con gases a una presión de operación más alta que la presión atmosférica, es necesario incorporar la válvula de alivio de gases PV/204 de tal manera que se produzca su apertura si se detecta sobrepresión en el sistema.

10.4.2.3. Indicadores AI/205, TI/206, TI/207, PI/208 y PI/209

El indicador AI/205 se incorpora a la corriente de entrada al reactor R-201 para comprobar que la proporción de reactivos a la entrada al reactor es la apropiada. Los indicadores TI/206, TI/207, PI/208 y PI/209 se instalan al principio y al final del lecho catalítico para obtener la distribución de temperaturas y presiones a lo largo del mismo.

10.4.3. Sección 300: acondicionamiento de productos

10.4.3.1. Lazo de control FIC/301

El lazo de control FIC/301 regula el caudal de líquido de la corriente de salida del condensador E-301, modificando el caudal de entrada de agua refrigerante al proceso. El caudal líquido debe ser el apropiado para lograr el objetivo de producción de 15.000 toneladas anuales de GBL al 99,7%.

Tabla 16. Detalles del lazo de control FIC/301

Objetivo de control:	Mantener un caudal líquido de salida del condensador que permita obtener la producción deseada en la planta.
Variable controlada (VC):	Caudal de líquido de salida del condensador E-301 (SP = 2052,5 kg/h o mayor, corriente 9)
Variable manipulada (VM):	Caudal de entrada de agua refrigerante al condensador.
Elementos principales:	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor de caudal FE/301 - Transmisor de señal de caudal FT/301 - Alarmas de caudal bajo FAL/301 - Controlador-indicador FIC/301 - Relé convertidor de señal FY/301 - Válvula de control de caudal FVC/301
Estrategia de control:	Control feedback.
Algoritmo de control:	Control PI. Es un proceso de respuesta rápida, con una capacitancia muy pequeña al no existir almacenamiento.

10.4.3.2. Lazo de control FIC/302

El lazo de control FIC/302 regula el caudal de líquido de la corriente de salida del tanque de homogenización V-301, manteniendo un flujo constante en la subsiguiente sección de separación.

Tabla 17. Detalles del lazo de control FIC/302

Objetivo de control:	Mantener un caudal líquido constante de salida del tanque V-301 que permita lograr los objetivos de producción (SP = 2052,5 kg/h o mayor).
Variable controlada (VC):	Caudal de líquido de salida del tanque V-301 (corriente 10).
Variable manipulada (VM):	Apertura de la válvula de control FVC/302
Elementos principales:	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor de caudal FE/302 - Transmisor de señal de caudal FT/302 - Controlador-indicador FIC/302 - Relé convertidor de señal FY/302 - Válvula de control de caudal FVC/302
Estrategia de control:	Control feedback.
Algoritmo de control:	Control PI. Es un proceso de respuesta rápida, con una capacitancia muy pequeña al no existir almacenamiento.

10.4.3.3. Lazo de control PIC/303

Este lazo de control asegura que a la entrada de la columna de destilación la corriente esté a presión atmosférica. Para ello se modifica la apertura de la válvula reductora de presión que precede a la columna.

Tabla 18. Detalles del lazo de control PIC/303

Objetivo de control:	Mantener una presión atmosférica en la entrada a la columna de destilación T-301 (SP = 1 bar).
Variable controlada (VC):	Presión de la corriente a la entrada de la columna T-301 (corriente 10).
Variable manipulada (VM):	Apertura de la válvula reductora de presión PVC/303.
Elementos principales:	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor de presión PE/303 - Transmisor de señal de presión PT/303 - Controlador-indicador PIC/303 - Relé convertidor de señal PY/303 - Válvula reductora de presión PVC/303
Estrategia de control:	Control feedforward.
Algoritmo de control:	Control PI. La variable de presión en líquidos presenta respuestas rápidas, con capacitancias muy pequeñas.

10.4.3.4. Lazo de control TIC/304

Este lazo controla la cantidad de refrigerante necesario en el condensador E-302 en función de la temperatura del vapor de la parte superior de la columna T-301. Si la temperatura de salida es más alta que la temperatura normal de operación, la válvula de control se abre aumentando el caudal de agua refrigerante, y viceversa.

Tabla 19. Detalles del lazo de control TIC/304

Objetivo de control:	Regular el caudal de agua de refrigeración en el condensador E-302 en función de la temperatura de salida por cabezas de la columna T-301.
Variable controlada (VC):	Temperatura de la corriente de salida por cabezas de la columna de destilación T-301.
Variable manipulada (VM):	Caudal de líquido refrigerante de entrada al condensador E-302.
Elementos principales:	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor de temperatura TE/304 - Transmisor de señal de temperatura TT/304 - Controlador-indicador TIC/304 - Relé convertidor de señal TY/304 - Válvula de control de caudal TVC/304
Estrategia de control:	Control feedforward.
Algoritmo de control:	Control PI o PID.

10.4.3.5. Lazo de control LIC/305

El lazo de control LIC/305 controla el flujo de salida de aguas residuales en función de la altura de líquido del tanque de condensado V-302. El objetivo es mantener un caudal de entrada a la columna constante, por lo que, si el nivel de líquido en el tanque incrementa demasiado, se aumenta el flujo de salida de aguas residuales permitiendo su vaciado. De esta manera, se garantiza el funcionamiento correcto de la columna T-301.

Tabla 20. Detalles del lazo de control LIC/305

Objetivo de control:	Mantener un caudal de reflujo constante, controlando el nivel del tanque y regulando el flujo de salida de la corriente de destilado.
Variable controlada (VC):	Altura del líquido en el tanque de condensado.
Variable manipulada (VM):	Caudal de aguas residuales de destilado.
Elementos principales:	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor de nivel LE/305 - Transmisor de señal de nivel LT/305 - Alarmas de nivel alto y bajo LAH/305 y LAL/305 - Controlador-indicador LIC/305 - Relé convertidor de señal LY/305 - Válvula de control de caudal LVC/305
Estrategia de control:	Control feedforward.
Algoritmo de control:	Control PID. La capacitancia es considerable y los retardos pequeños, por lo que se debe implementar un control PID que acelere la respuesta.

10.4.3.1. Lazo de control FIC/306

El lazo de control FIC/306 regula el caudal de la corriente de reflujo de la columna de destilación T-301 mediante una válvula de control localizada sobre el circuito de recirculación. Se aplica un control feedforward anticipativo para evitar un cambio brusco de caudal a la entrada de la columna, que puede suceder en un control feedback.

Tabla 21. Detalles del lazo de control FIC/306

Objetivo de control:	Controlar el caudal de la corriente de reflujo de la columna de destilación en función del punto de consigna asignado a la pureza deseada.
Variable controlada (VC):	Caudal de líquido de recirculación de la columna T-301.
Variable manipulada (VM):	Caudal de entrada a la columna T-301.
Elementos principales:	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor de caudal FE/306 - Transmisor de señal de caudal FT/306 - Controlador-indicador FIC/306 - Relé convertidor de señal FY/306 - Válvula de control de caudal FVC/306
Estrategia de control:	Control feedforward.
Algoritmo de control:	Control PI. Es un proceso de respuesta rápida, con una capacitancia muy pequeña.

10.4.3.2. Lazo de control TIC/307

Este lazo controla la cantidad de vapor de agua saturado necesario en el calderín E-303 en función de la temperatura del vapor recirculado a la zona inferior de la columna T-301, manteniendo las condiciones de equilibrio de la misma. Si la temperatura de salida es más baja que la temperatura normal de operación, la válvula de control se abre aumentando el caudal de fluido calefactor, y viceversa.

Tabla 22. Detalles del lazo de control TIC/307

Objetivo de control:	Regular el caudal de vapor de agua saturado a media presión en el calderín E-303 en función de la temperatura de la corriente de recirculación de vapor (SP = 198,9 °C).
Variable controlada (VC):	Temperatura de la corriente de vapor de recirculación de la columna de destilación T-301.
Variable manipulada (VM):	Caudal de vapor de agua saturado de entrada al calderín E-303.
Elementos principales:	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor de temperatura TE/307 - Transmisor de señal de temperatura TT/307 - Controlador-indicador TIC/307 - Relé convertidor de señal TY/307 - Válvula de control de caudal TVC/307
Estrategia de control:	Control feedback.
Algoritmo de control:	Control PI o PID.

10.4.3.3. Lazo de control LIC/308

El lazo de control LIC/308 regula el caudal de salida de γ -butirolactona en el evaporador parcial E-303 mediante un control del nivel en el mismo. De esta manera, se obtiene un producto con la calidad requerida.

Tabla 23. Detalles del lazo de control LIC/308

Objetivo de control:	Controlar la calidad del producto regulando el flujo de salida del mismo en función del nivel de líquido en el evaporador parcial.
Variable controlada (VC):	Altura del líquido en el evaporador parcial E-303.
Variable manipulada (VM):	Caudal de líquido de salida de producto.
Elementos principales:	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor de nivel LE/308 - Transmisor de señal de nivel LT/308 - Alarmas de nivel alto y bajo LAH/308 y LAL/308 - Controlador-indicador LIC/308 - Relé convertidor de señal LY/308 - Válvula de control de caudal LVC/308
Estrategia de control:	Control feedback.
Algoritmo de control:	Control PID. La capacitancia es considerable y los retardos pequeños, por lo que se debe implementar un control PID que acelere la respuesta.

10.4.3.4. Alarmas LAH/309 y LAL/310

Las alarmas on-off LAH/309 y LAL/310 se incorporan al tanque de homogenización V-301 para señalar a los operarios que la altura de líquido en el recipiente alcanza un valor muy alto o muy bajo, respectivamente, que pueda incluso afectar al correcto funcionamiento de la bomba adyacente.

10.4.3.5. Válvulas de alivio de gases PSV/311, PSV/312, PSV/313 y PSV/314

La válvula de alivio PSV/311 se implementa en el condensador E-301 pues opera con gas en la carcasa y es susceptible de sobrepresiones, aliviando la presión en caso de producirse. La válvula PSV/312 se localiza en la columna de destilación, mientras que las válvulas PSV/313 y PSV/314 están situadas en el condensador E-302 y el calderín E-303, actuando bajo los mismos principios explicados anteriormente.

10.4.3.6. Indicadores AI/315, LI/316, TI/317, TI/318, PI/319 y PI/320

El indicador AI/315 se implementa a la entrada del tanque de homogenización para comprobar la proporción de γ -butirolactona y agua en la corriente líquida. A su vez, el indicador LI/316 sirve para controlar el nivel del líquido en dicho tanque.

Los indicadores de temperatura TI/317 y TI/318 se añaden a la columna de destilación, cada uno en sendos lechos de relleno, para comprobar que la temperatura alcanzada esté dentro del rango óptimo y no se produzca degradación relevante del material de relleno.

Por último, los indicadores de presión PI/319 y PI/320 se incorporan en la parte alta y baja de la columna para comprobar la presión en cada punto.

10.4.4. Sección 400: sistema de recirculación

10.4.4.1. Lazo de control AIC/401

Este lazo de control está diseñado para controlar la generación excesiva de hidrógeno en el proceso regulando el flujo de la corriente de purga.

De existir una generación de hidrógeno en el sistema reactivo, el control actúa comparando la corriente de hidrógeno que se recircula con el punto de consigna asignado y en consecuencia abriendo o cerrando la válvula de caudal de purga.

Tabla 24. Detalles del lazo de control AIC/401

Objetivo de control:	Regular una generación de hidrógeno excesiva en el sistema reactivo, modificando para ello el caudal de salida de la purga.
Variable controlada (VC):	Caudal de recirculación de gas procedente del condensador E-301.
Variable manipulada (VM):	Caudal de salida de la purga.
Elementos principales:	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor de composición AE/401 - Transmisor de señal de composición AT/401 - Controlador-indicador AIC/401 - Relé convertidor de señal AY/401 - Válvula de control de caudal AVC/401
Estrategia de control:	Control feedforward.
Algoritmo de control:	Control PID. El control de composición es muy lento debido a los sistemas de acondicionamiento y análisis de la muestra.

10.4.4.2. Lazo de control PIC/402

El lazo de control 403 regula la presión de la corriente de salida del compresor K-401 modificando la potencia suministrada por el compresor en función de la necesidad de un mayor o menor grado de compresión.

Tabla 25. Detalles del lazo de control PIC/402

Objetivo de control:	Mantener la presión de salida en punto de consigna (SP = 1,5 bar).
Variable controlada (VC):	Presión de la corriente a la salida del compresor K-401 (corriente 15).
Variable manipulada (VM):	Potencia suministrada por el compresor.
Elementos principales:	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor de presión PE/402 - Transmisor de señal de presión PT/402 - Controlador-indicador PIC/402 - Relé convertidor de señal PY/402 - Motor M/402 del compresor K-401
Estrategia de control:	Control feedback.
Algoritmo de control:	Control PID. El control de presión en gases se caracteriza por poseer elevada capacitancia y tiempo muerto pequeño.

10.4.4.3. Lazo de control TIC/403

Este lazo controla la cantidad de aceite térmico necesario en el intercambiador E-401 de manera que a la salida de la unidad se obtenga la temperatura del punto de consigna establecido. Si la temperatura de salida es más baja, la válvula de control se abre aumentando el caudal de aceite, y viceversa.

Tabla 26. Detalles del lazo de control TIC/403

Objetivo de control:	Regular el caudal de vapor de aceite térmico en función de la temperatura de salida requerida.
Variable controlada (VC):	Temperatura de la corriente de salida del intercambiador E-401.
Variable manipulada (VM):	Caudal de vapor de aceite térmico de entrada al intercambiador.
Elementos principales:	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor de temperatura TE/403 - Transmisor de señal de temperatura TT/403 - Controlador-indicador TIC/403 - Relé convertidor de señal TY/403 - Válvula de control de caudal TVC/403
Estrategia de control:	Control feedback.
Algoritmo de control:	Control PI o PID.

10.4.4.4. Lazo de control AIC/404

El lazo de control AIC/404 regula el flujo de entrada de hidrógeno puro al sistema en función del caudal recirculado de la corriente procedente del condensador E-301, relacionada con la generación o consumo de hidrógeno en el reactor por las dos reacciones complementarias. Si la proporción de hidrógeno en la corriente de recirculación es menor que el punto de consigna, la válvula se abre para compensar el hidrógeno perdido.

Tabla 27. Detalles del lazo de control AIC/404

Objetivo de control:	Mantener la proporción adecuada de hidrógeno en la corriente de entrada al reactor, modificando el flujo de alimentación de hidrógeno puro.
Variable controlada (VC):	Composición de la corriente de salida del intercambiador E-401 (corriente 16).
Variable manipulada (VM):	Caudal de entrada de hidrógeno puro.
Elementos principales:	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor de composición AE/404 - Transmisor de señal de composición AT/404 - Controlador-indicador AIC/404 - Relé convertidor de señal AY/404 - Válvula de control de caudal ACV/404
Estrategia de control:	Control feedback.
Algoritmo de control:	Control PID. El control de composición es muy lento debido a los sistemas de acondicionamiento y análisis de la muestra.

10.4.4.1. Válvula de alivio de gases PSV/405

La válvula de alivio PSV/405 es un dispositivo de seguridad que se implementa en el intercambiador E-401 pues opera con gas en la carcasa y es susceptible de sobrepresiones, aliviando la presión en caso de producirse.

11. Estudio de viabilidad técnica

Las soluciones técnicas que se presentan a lo largo del proyecto deben cumplir una serie de condiciones que permitan que la idea original pueda ser implementada. Los factores tales como la disponibilidad de tecnología, recursos o espacio suficiente, y la construcción y funcionamiento de la planta que permita la obtención de la cantidad y calidad del producto deseado, son estudiados en este apartado.

11.1. Disponibilidad de la tecnología seleccionada

En el apartado 5 de esta Memoria se presenta el análisis de las distintas alternativas para la producción a escala industrial de γ -butirolactona de alta pureza, donde se discute la elección de un proceso novedoso, no implementado en la actualidad.

La principal característica del proceso seleccionado en este proyecto es la combinación en el reactor de dos reacciones complementarias entre sí, permitiendo un ahorro energético considerable y favoreciendo la economía del hidrógeno. La elección y el diseño del reactor son dos aspectos fundamentales para lograr que el proyecto sea factible.

En las últimas dos décadas, se han realizado numerosos estudios de investigación y pruebas en laboratorio acerca del comportamiento en un reactor de dos reacciones complementarias. Los trabajos de Towler et Al. (78), Altimari et Al. (79), Zhu et Al. (13), y Kannapu et Al. (80), son algunos ejemplos donde se demuestra que, tanto a nivel teórico como a nivel práctico en plantas piloto, los resultados son satisfactorios.

Se decide implementar un reactor catalítico adiabático de lecho fijo y relleno de $\text{CuO/ZnO/Al}_2\text{O}_3$ basándose en los estudios de Zhu et Al. y Javaid et Al. (15). Los reactores catalíticos adiabáticos son muy típicos en la industria química, y su diseño se realiza en base a la información extraída de diversos recursos bibliográficos.

Además del reactor, otros equipos principales son la columna de destilación, el intercambiador de calor, los condensadores parcial y total, los evaporadores y los compresores. Todas las unidades son bastante comunes y se dispone de suficiente información para realizar su diseño.

Quizá el equipo que supone mayor problema sea el condensador parcial. El diseño propuesto de esta unidad se realiza por suposiciones de comportamiento en base a las características de los componentes químicos implicados y mediante ayuda externa de ingenieros químicos experimentados, cuyos proyectos requerían de unidades similares y que han comprobado empíricamente que la solución adoptada es aceptable. La viabilidad técnica en este aspecto queda justificada.

11.2. Disponibilidad de recursos

Un requisito fundamental para que el proyecto sea viable técnicamente es la disponibilidad en cantidad y calidad de 1,4-butanodiol, anhídrido maleico e hidrógeno gas. En el apartado 7.2 se realiza un análisis de métodos de transporte y calidad comercial típicos de cada materia prima y en el apartado 8.2.1 un estudio de la localización de los proveedores principales en España.

Los principales reactivos, 1,4-butanodiol y anhídrido maleico, se pueden obtener con una calidad mínima garantizada entre 99,8% y 99,9%. Por simplicidad, y dado que las cantidades de impurezas son despreciables, se considera a lo largo del proyecto y especialmente en los balances de materia y energía, que los productos entran puros al proceso. Esta solución está justificada dado que los equipos se diseñan con cierto margen para permitir cambios en el proceso productivo, por lo que, de disponerse de productos con una calidad menor, servirían igualmente.

Respecto a las cantidades requeridas, los distribuidores de 1,4-butanodiol y de anhídrido maleico seleccionados disponen de recursos suficientes como para abastecer a la planta de γ -butirolactona de este proyecto.

El hidrógeno juega un rol más secundario al requerirse de pocas cantidades en estado estacionario, y grandes cantidades únicamente en los arranques del proceso. El distribuidor más cercano a la planta tiene grandes almacenes a menos de 2 km de distancia de la localización elegida, por lo que la disponibilidad de este compuesto está garantizada.

11.3. Disponibilidad de utilidades

Las utilidades requeridas para el funcionamiento de la planta son proporcionadas principalmente por el Polígono Industrial en el cual está localizada la planta química, pues dispone de sistemas de red eléctrica, abastecimiento de aguas de proceso y contraincendios, y tratamiento de aguas residuales al estar conectado con la E.D.A.R local.

A partir de la disponibilidad de agua, se deben incorporar a la planta química equipos para la obtención de vapor de agua saturado que permitan llevar a cabo el calentamiento de las corrientes de proceso, y agua refrigerada a 5 °C. El aceite térmico empleado se obtiene de un distribuidor nacional y requiere de un sistema de calentamiento previo para permitir el empleo y recirculación del mismo en el intercambiador de calor.

Todas las soluciones empleadas para cubrir el requerimiento de utilidades son viables y comúnmente empleadas.

11.4. Disponibilidad de espacio en el terreno

El terreno seleccionado para este proyecto debe ser suficientemente amplio como para permitir la instalación de los equipos principales que conforman la batería del proceso y todas las infraestructuras necesarias.

La estimación del espacio requerido se realiza en base a los datos de diseño de las unidades de proceso y de almacenaje, y a las infraestructuras (edificios, laboratorio, almacenes...) de plantas químicas con capacidades de producción semejantes. De una manera aproximada, se requieren de mínimo 10.000 m², inclusive el aparcamiento y zonas de carga y descarga que permitan una buena maniobrabilidad de los camiones y transportes utilitarios.

La parcela seleccionada para este proyecto consta de 17.019 m², siendo suficiente para cubrir la necesidad de espacio y una posible ampliación futura. Se debe contar además que, conforme a la ley de carreteras, se debe dejar un margen de 18 metros respecto al eje de la carretera, por lo que el espacio útil es menor dado que la parcela delimita con dos tramos.

11.5. Capacidad productiva y requisitos del producto

La capacidad de producción de la planta química es de 15.000 toneladas anuales de γ -butirolactona al 99,7% en pureza másica.

Las plantas de producción actuales en Europa (BASF y Lyondell, entre otras) constan de hasta 85.000 toneladas al año de capacidad; en Japón, la compañía Mitsubishi posee plantas con capacidades de producción entre 10.000 y 20.000 toneladas anuales; en China se disponen de datos de 2005 de planta con capacidades entre 10.000 – 12.000 toneladas anuales y en India rondan las 3.000 toneladas al año. La capacidad de producción de la planta de este proyecto se encuentra dentro de un rango normal, suficiente para cubrir la demanda nacional y exportar producto a otros países.

La calidad del producto comercial típica es del 99,7% en peso, y es la establecida en este proyecto. No obstante, dado que la separación de γ -butirolactona y el agua es sencilla, pues no se forman azeótropos y se requiere únicamente de una columna de destilación, sería posible obtener un producto de mayor pureza.

Debido a la simplificación de que la formación de subproductos es despreciable, pues corresponden a un 1% en selectividad de la reacción química, en la práctica la separación es más compleja y por este motivo se decide establecer como objetivo de calidad la pureza típica del producto.

11.6. Seguridad del proceso

Por último, es imprescindible que el proceso sea lo más seguro posible. Las condiciones de operación normales de temperatura y presión son bastante más bajas que las requeridas en los procesos industriales actuales, debido en gran medida al sistema reactivo empleado.

El rango normal de presión que asegure una operación segura es de 1 a 10 bar, pues de operarse fuera del mismo requeriría de equipos y protección especiales. En este aspecto, el rango de presiones de este proyecto es de 1 a 1,5 bar, por lo que se sitúa dentro del rango óptimo. Del mismo razonamiento, la temperatura máxima alcanzada en condiciones normales es cercana a los 270 °C, lejos de la temperatura crítica de 400 °C que requiere de equipamiento especializado.

Las situaciones en las que se produzcan perturbaciones en el proceso que puedan poner en peligro la seguridad de los operarios y las infraestructuras se regulan mediante lazos de control, dispositivos indicadores, alarmas y válvulas de alivio estratégicamente colocados y seleccionados de forma que se minimicen los aspectos adversos que puedan provocar.

12. Estudio de viabilidad económica

El proceso industrial propuesto ha de ser viable económicamente a fin de obtener beneficios durante el ciclo de vida estimado del proyecto. Para comprobar la rentabilidad de la planta, se evalúan los siguientes indicadores financieros: el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el plazo de recuperación de la inversión inicial (payback).

12.1. Inversión inicial del proyecto, préstamo e interés

La inversión inicial representa el capital necesario para construir la planta desde su planificación inicial hasta su puesta en funcionamiento (81). Su cálculo estimado se realiza empleando el método factorial en función del coste de los equipos entregados y se presenta detallado en el Documento IV. Presupuesto, del presente proyecto. El valor estimado de la inversión inicial requerida asciende a 5.059.669,75 €.

Para hacer frente a dicha cantidad se solicita un préstamo a una entidad financiera que permita devolver el dinero de forma fraccionada con un interés añadido. Como la planta se va a construir en España, se emplea como procedimiento del cálculo de cuotas de préstamos el sistema francés de cuotas anuales constantes.

El importe de la cuota anual está formado por la acumulación de intereses generados en el año y la parte de amortización del préstamo. La fórmula matemática para el cálculo de cuota es (82):

$$R = P \cdot \left[\frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right] \quad (12)$$

Siendo:

R = Cuota anual constante (€)

P = Préstamo solicitado (€)

i = Tasa de interés anual equivalente (TAE, %)

n = Duración de la operación (años)

Los intereses anuales (I) del año k se calculan mediante el capital vivo (CV) del año $(k - 1)$ y la tasa de interés anual correspondiente empleando la fórmula siguiente:

$$I_k = CV_{(k-1)} \cdot i \quad (13)$$

Se entiende por capital vivo a la cantidad de deuda restante con la entidad financiera, es decir, la cantidad de préstamo todavía no amortizado. Se calcula como:

$$CV_k = R - \sum_{k=0}^k I_k \quad (14)$$

La amortización (A) del año k corresponde a la cantidad de la cuota anual que se destina a la devolución del préstamo:

$$A_k = R - I_k \quad (15)$$

Las consideraciones para el cálculo de la cuota se presentan a continuación:

Tabla 28. Consideraciones para el cálculo del préstamo

Duración de la operación, n (años)	15
TAE, i (%)	5,22
Préstamo inicial, P (€)	5.059.669,75 €

Los cálculos detallados se presentan en la tabla 29, donde se puede observar que los pagos se realizan a final de cada año fiscal. En conclusión, para un préstamo de 5.059.669,75 € a 15 años, la cantidad total que se paga es de 7.421.036,27 €, de los cuales 2.361.366,52 € son intereses.

Tabla 29. Cálculo de cuota, intereses y amortización durante el pago del préstamo

Año	Capital vivo (CV)	Amortización (A)	Interés anual (I)	Cuota (R)
0	5.059.669,75 €			
1	4.829.048,76 €	230.620,99 €	264.114,76 €	494.735,75 €
2	4.586.389,35 €	242.659,41 €	252.076,35 €	494.735,75 €
3	4.331.063,12 €	255.326,23 €	239.409,52 €	494.735,75 €
4	4.062.408,87 €	268.654,26 €	226.081,49 €	494.735,75 €
5	3.779.730,86 €	282.678,01 €	212.057,74 €	494.735,75 €
6	3.482.297,06 €	297.433,80 €	197.301,95 €	494.735,75 €
7	3.169.337,21 €	312.959,84 €	181.775,91 €	494.735,75 €
8	2.840.040,86 €	329.296,35 €	165.439,40 €	494.735,75 €
9	2.493.555,24 €	346.485,62 €	148.250,13 €	494.735,75 €
10	2.128.983,08 €	364.572,17 €	130.163,58 €	494.735,75 €
11	1.745.380,24 €	383.602,83 €	111.132,92 €	494.735,75 €
12	1.341.753,34 €	403.626,90 €	91.108,85 €	494.735,75 €
13	917.057,11 €	424.696,23 €	70.039,52 €	494.735,75 €
14	470.191,74 €	446.865,37 €	47.870,38 €	494.735,75 €
15	- €	470.191,74 €	24.544,01 €	494.735,75 €
TOTAL		5.059.669,75 €	2.361.366,52 €	7.421.036,27 €

12.2. Flujos de caja

Los flujos de caja son indicadores importantes para evaluar la rentabilidad de una empresa, pues representan los flujos de activos en un período dado que surgen del resultado de las actividades económicas de la planta química. Son además la base de cálculo del VAN, TIR y payback, que se analizan en los siguientes apartados. La elaboración de los flujos de caja se realiza año por año en base al beneficio bruto, a la amortización del inmovilizado y a las tasas de impuestos, inflación y coste de oportunidad.

12.2.1. Cálculo del beneficio bruto

El beneficio bruto (BB) es el resultado de la diferencia entre los ingresos por ventas de producto y los costes de explotación derivados de la compra de materias primas, materiales, mantenimiento y salario de operarios, entre otros. En las tablas 30 y 31 se muestran los precios de mercado de compra y venta de las materias primas y productos de esta planta, y el total económico en función del requerimiento anual.

Tabla 30. Ingreso por venta de producto (Fuente: (83))

Materia prima	Precio mercado	Cantidad producida en un año	Ingreso anual
γ -Butirolactona (99,7 %)	2.330 €/ton	15.000 ton	34.950.000,00 €

Tabla 31. Coste de compra de materias primas (Fuente: (84), (85))

Materia prima	Precio mercado	Cantidad requerida en un año	Coste anual
1,4-butanodiol (99,9 %)	1.560 €/ton	9.421,52 ton	14.697.574,57 €
Anhídrido maleico (99,9 %)	1.460 €/ton	6.834,40 ton	9.978.226,94 €
TOTAL	-	-	24.675.801,51 €

Los valores de ingresos y costes de cada año se irán actualizando según la tasa de inflación, que se considerará del 3%. Los costes de operación anuales se calculan en función del coste total anual por compra de materias primas reflejado en la tabla 32, empleando un método factorial (86) que se detalla en la tabla siguiente:

Tabla 32. Costes de operación anuales

A. Costes variables	27.367.748,66 €
1. Materias primas	24.675.801,51 €
2. Materiales (0,1·1)	2.467.580,15 €
3. Catalizador	224.367,00 €
4. Envío y embalaje	<i>Despreciable</i>
B. Costes fijos	4.863.368,84 €
5. Mantenimiento (0,05·A)	1.368.387,43 €
6. Salario operarios	413.798,00 €
7. Laboratorio (0,2·6)	82.759,60 €
8. Cargos de capital (0,1·A)	2.736.774,87 €
9. Seguro (0,01·A)	273.677,49 €
Costes de operación totales (A+B)	32.243.146,04 €

El precio del catalizador utilizado es 10 €/kg, obtenido directamente del fabricante. La cantidad total empleada corresponde a la compra de dos cargas anuales de reactor, para evitar su degradación y por ende la disminución en productividad.

El número de operarios se estima en base a la capacidad de la planta según la figura 34. Para una producción de aproximadamente 45 toneladas diarias, 330 días de trabajo anuales, y siendo un proceso de fluidos únicamente (línea C en la figura), el número de horas totales requeridas al año por los empleados es de 27.720. Por norma general, cada operario trabajará 2640 horas al año (40 horas semanales), por lo que la planta necesita como mínimo de 11 operarios fijos.

El salario medio de los operarios de una planta química según la Federación Empresarial de la Industria Química Española (FEIQE) asciende a 37.618 € brutos anuales que, multiplicado por el número de operarios, permite obtener el coste total de los trabajadores.

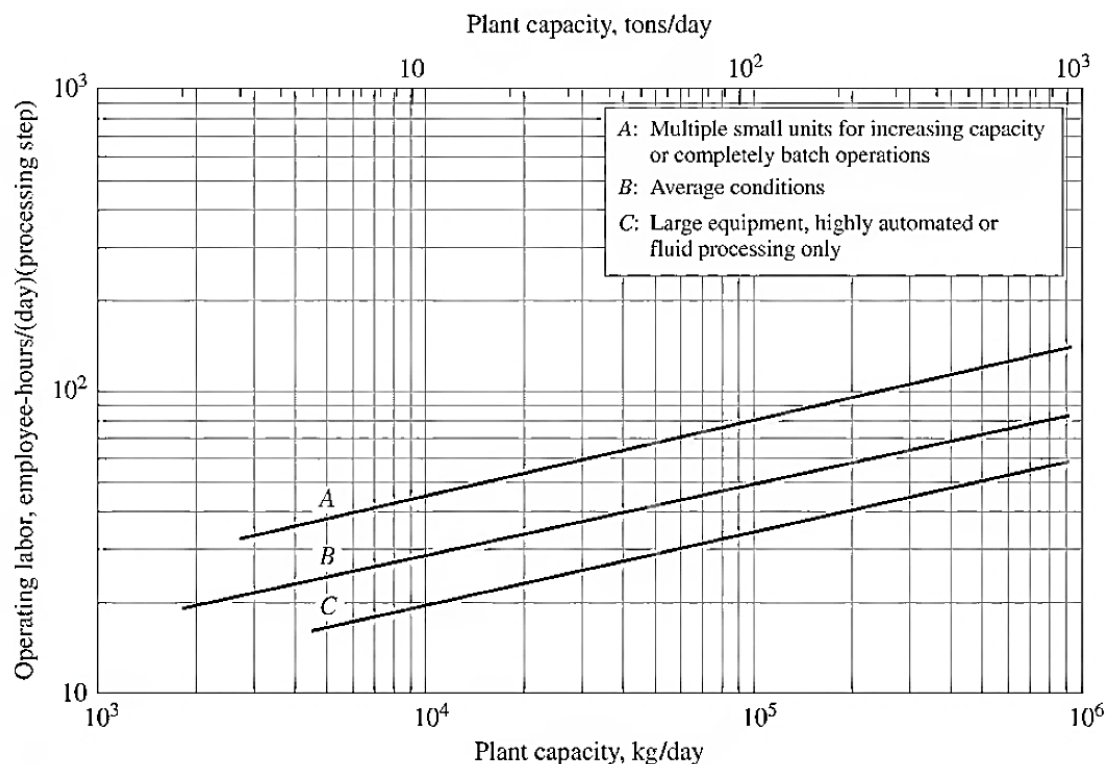


Figura 34. Relación entre la capacidad de planta y el número de horas totales al día de los operarios
(Fuente: (82))

12.2.2. Cálculo del beneficio neto

El valor del beneficio neto (BN) se calcula en base al beneficio bruto, a la amortización del inmovilizado y al impuesto de sociedades.

Se refiere por amortización del inmovilizado (AI) a la depreciación que éste sufre debido al paso del tiempo. Se calcula una cuota anual constante para cada año mediante la siguiente expresión:

$$AI = \frac{\text{Costes fijos de inmovilizado totales}}{\text{Vida útil del inmovilizado}} = \frac{(\text{Presupuesto} - \text{Capital circulante})}{\text{Vida útil del inmovilizado}} \quad (16)$$

La diferencia entre el beneficio bruto y la amortización lineal en el año k y el pago de intereses del préstamo representa el beneficio antes de impuestos (BAT) de ese mismo año:

$$BAT_k = BB_k - AI_k - I_k \quad (17)$$

Y finalmente, el beneficio neto anual se calcula como la diferencia entre el beneficio antes de impuestos y los gastos de impuestos:

$$BN_k = BAT_k - BAT_k \cdot i_s = BAT_k (1 - i_s) \quad (18)$$

Siendo i_s el impuesto de sociedades, con un valor actual del 25% para la industria química según la Agencia Tributaria.

12.2.3. Desarrollo de los flujos de caja

El flujo de caja neto (*net cash flow*, o CF por sus siglas en inglés) de cada año representa la suma del beneficio neto calculado anteriormente más la cuota de amortización lineal del inmovilizado, de tal manera que:

$$CF_k = BN_k + AI_k \quad (19)$$

A este valor hay que descontarle el coste de oportunidad (i_o) a lo largo del tiempo, que se considera de un 10%:

$$CF_k \text{ descontado} = \frac{CF_k}{(1 + i_o)^k} \quad (20)$$

Finalmente, se calcula el flujo de caja acumulado para cada año, que corresponde a la suma de la inversión inicial (en negativo) y la suma de los flujos de caja descontados hasta ese mismo año:

$$CF_k \text{ acumulado} = -P + \sum_{k=0}^k CF_k \text{ descontado} \quad (21)$$

En la tabla 33 se resumen las consideraciones previas en el cálculo de los flujos de caja, y en la tabla 34 se detallan todos los cálculos de dichos flujos anuales durante el tiempo de vida estimado de la planta de este proyecto.

Tabla 33. Consideraciones para el cálculo de los flujos de caja

Vida útil de la planta y equipos, n (años)	15
Inversión inicial, P (€)	5.059.669,75 €
Costes fijos de inmovilizado (€)	4.415.711,78 €
Capital circulante (€)	643.957,97 €
Tasa de inflación, (%)	3%
Impuesto de sociedades, i_s (%)	25%
Coste de oportunidad, i_o (%)	10%

Tabla 34. Flujos de caja

Año	0	1	2	3
Ingresos por venta	- €	34.950.000,00 €	35.998.500,00 €	37.078.455,00 €
Costes de producción	- €	32.243.146,04 €	33.210.440,42 €	34.206.753,63 €
BB	- €	2.706.853,96 €	2.788.059,58 €	2.871.701,37 €
Amortización AI	- €	294.380,79 €	294.380,79 €	294.380,79 €
Intereses	- €	264.114,76 €	252.076,35 €	239.409,52 €
BAT	- €	2.148.358,41 €	2.241.602,45 €	2.337.911,06 €
Impuestos	- €	537.089,60 €	560.400,61 €	584.477,76 €
BN	- €	1.611.268,81 €	1.681.201,84 €	1.753.433,29 €
CF	- €	1.905.649,60 €	1.975.582,62 €	2.047.814,08 €
CF descontado	- €	1.905.649,60 €	1.632.712,91 €	1.538.553,03 €
CF acumulado	-5.059.669,75 €	-3.154.020,15 €	-1.521.307,24 €	17.245,78 €

Tabla 34. Flujos de caja (continuación)

Año	4	5	6	7
Ingresos por venta	38.190.808,65 €	39.336.532,91 €	40.516.628,90 €	41.732.127,76 €
Costes de producción	35.232.956,24 €	36.289.944,93 €	37.378.643,28 €	38.500.002,58 €
<i>BB</i>	2.957.852,41 €	3.046.587,98 €	3.137.985,62 €	3.232.125,19 €
Amortización <i>AI</i>	294.380,79 €	294.380,79 €	294.380,79 €	294.380,79 €
Intereses	226.081,49 €	212.057,74 €	197.301,95 €	181.775,91 €
<i>BAT</i>	2.437.390,13 €	2.540.149,45 €	2.646.302,88 €	2.755.968,49 €
Impuestos	609.347,53 €	635.037,36 €	661.575,72 €	688.992,12 €
<i>BN</i>	1.828.042,59 €	1.905.112,09 €	1.984.727,16 €	2.066.976,37 €
<i>CF</i>	2.122.423,38 €	2.199.492,87 €	2.279.107,95 €	2.361.357,16 €
<i>CF</i> descontado	1.449.643,73 €	1.365.712,02 €	1.286.497,02 €	1.211.749,59 €
<i>CF</i> acumulado	1.466.889,51 €	2.832.601,54 €	4.119.098,56 €	5.330.848,15 €

Tabla 34. Flujos de caja (continuación)

Año	8	9	10	11
Ingresos por venta	42.984.091,60 €	44.273.614,34 €	45.601.822,77 €	46.969.877,46 €
Costes de producción	39.655.002,65 €	40.844.652,73 €	42.069.992,32 €	43.332.092,09 €
<i>BB</i>	3.329.088,94 €	3.428.961,61 €	3.531.830,46 €	3.637.785,37 €
Amortización <i>AI</i>	294.380,79 €	294.380,79 €	294.380,79 €	294.380,79 €
Intereses	165.439,40 €	148.250,13 €	130.163,58 €	111.132,92 €
<i>BAT</i>	2.869.268,75 €	2.986.330,69 €	3.107.286,09 €	3.232.271,67 €
Impuestos	717.317,19 €	746.582,67 €	776.821,52 €	808.067,92 €
<i>BN</i>	2.151.951,57 €	2.239.748,02 €	2.330.464,57 €	2.424.203,75 €
<i>CF</i>	2.446.332,35 €	2.534.128,80 €	2.624.845,35 €	2.718.584,54 €
<i>CF</i> descontado	1.141.232,10 €	1.074.717,99 €	1.011.991,51 €	952.847,30 €
<i>CF</i> acumulado	6.472.080,25 €	7.546.798,24 €	8.558.789,75 €	9.511.637,04 €

Tabla 34. Flujos de caja (final)

Año	12	13	14	15
Ingresos por venta	48.378.973,78 €	49.830.343,00 €	51.325.253,29 €	52.865.010,88 €
Costes de producción	44.632.054,85 €	45.971.016,49 €	47.350.146,99 €	48.770.651,40 €
<i>BB</i>	3.746.918,93 €	3.859.326,50 €	3.975.106,30 €	4.094.359,49 €
Amortización <i>AI</i>	294.380,79 €	294.380,79 €	294.380,79 €	294.380,79 €
Intereses	91.108,85 €	70.039,52 €	47.870,38 €	24.544,01 €
<i>BAT</i>	3.361.429,30 €	3.494.906,19 €	3.632.855,13 €	3.775.434,69 €
Impuestos	840.357,32 €	873.726,55 €	908.213,78 €	943.858,67 €
<i>BN</i>	2.521.071,97 €	2.621.179,64 €	2.724.641,35 €	2.831.576,02 €
<i>CF</i>	2.815.452,76 €	2.915.560,43 €	3.019.022,13 €	3.125.956,80 €
<i>CF</i> descontado	897.090,02 €	844.534,00 €	795.002,88 €	748.329,21 €
<i>CF</i> acumulado	10.408.727,06 €	11.253.261,06 €	12.048.263,95 €	12.796.593,15 €

12.3. Valor actual neto (VAN)

El valor actual neto es un indicador económico que permite evaluar los flujos de caja generados en un futuro con una inversión realizada a tiempo presente, con el fin de determinar los beneficios obtenidos resultado de la actividad comercial. Un valor neto positivo del VAN implica que el proyecto es rentable, y a mayor sea el valor de este parámetro, mayores serán la viabilidad económica, los beneficios futuros y el interés de los inversores (81).

El cálculo del VAN representa el valor del flujo de caja acumulado en el último año de vida útil estimado para el proyecto, por lo que la ecuación de su cálculo es:

$$VAN = CF_n \text{ acumulado} = -P + \sum_{k=0}^{k=n} CF_k \text{ descontado} \quad (22)$$

Evaluando según los flujos de caja de la tabla 34, el resultado del VAN es de 12.796.593,15 €. Al obtenerse un valor positivo, superior incluso a la inversión inicial, se puede establecer bajo este criterio que la planta de este proyecto es rentable.

12.4. Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno es el indicador económico más ampliamente utilizado para evaluar la viabilidad económica de los proyectos de ingeniería. Se define como el valor del coste de oportunidad con el que el VAN se iguala a cero, es decir, el índice de coste de oportunidad que permitiría recuperar los fondos invertidos y refinanciar el proyecto de nuevo una vez que se termine su vida útil (81).

Desde el punto de vista financiero, un proyecto se considera rentable si su TIR es superior al valor del coste de oportunidad considerado. De esta manera, a mayor sea el valor del TIR, más rentable resultará la inversión. La ecuación de su cálculo es la siguiente:

$$VAN = -P + \sum_{k=0}^{k=n} \frac{CF_k}{(1 + TIR)^k} = 0 \quad (23)$$

Evaluando la expresión anterior empleando la herramienta SOLVER del programa Excel, se obtiene un valor de 46,1 %, claramente superior al índice de coste de oportunidad del 10 %. En conclusión: bajo este criterio económico, el proyecto también es rentable.

12.5. Período de retorno de la inversión inicial (payback)

El payback es un indicador económico que calcula el plazo que ha de transcurrir hasta que la suma de los flujos de caja acumulados iguala a la inversión inicial realizada. En otras palabras, representa el período en el que el VAN se iguala a cero y a partir del cual se empiezan a obtener resultados financieros favorables.

A medida que el valor del payback aumenta, más tiempo tarda el inversor en recuperar el capital invertido en el proyecto, y viceversa. Por lo tanto, el proyecto será más interesante cuando el payback sea lo menor posible.

En la figura 35 se representa el flujo de caja acumulado frente al tiempo de vida útil de la planta química. Se comprueba que el período que transcurre hasta que el flujo de caja acumulado se iguala a cero es de aproximadamente 3 años.

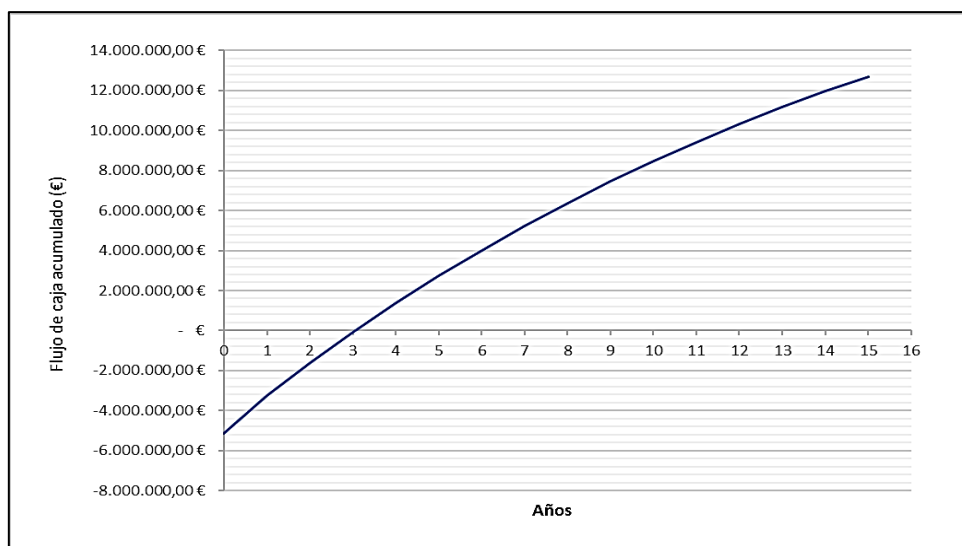


Figura 35. Obtención del parámetro payback.

12.6. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad permite determinar en qué medida afectan las incertidumbres a la rentabilidad del proceso, proporcionando una idea general acerca del riesgo involucrado al realizar la inversión y un pronóstico de resultados financieros en el futuro teniendo en cuenta diferentes situaciones, tanto favorables como desfavorables.

Se considerarán como variables determinantes los posibles cambios producidos en los precios del mercado, tanto de compra de materia primas como de venta de producto, así como cambios en la inversión inicial de producirse variaciones en el presupuesto por gastos o ingresos no previstos.

12.6.1. Variaciones en los precios de mercado

Según datos del ICIS, el precio de mercado de γ -butirolactona y 1,4-butanodiol están muy relacionados, y cuando se producen aumentos del primero, también se producen del segundo en la misma medida, por lo que es altamente improbable un escenario donde se produjese únicamente una variación en uno de ellos (87).

Se representan en la tabla 35 los efectos que conllevan en los tres indicadores financieros mostrados previamente (VAN, TIR y payback) los cambios en el precio del mercado, tanto de las materias primas como del producto, en un rango de $\pm 10\%$.

Analizando los resultados, los mejores escenarios se presentan cuando el precio de BDO y GBL aumentan, independientemente del precio del MA dentro del rango considerado. Tal y como se puede observar en la figura 36, la tendencia de los precios de mercado en Europa es sumamente favorable para este proyecto.

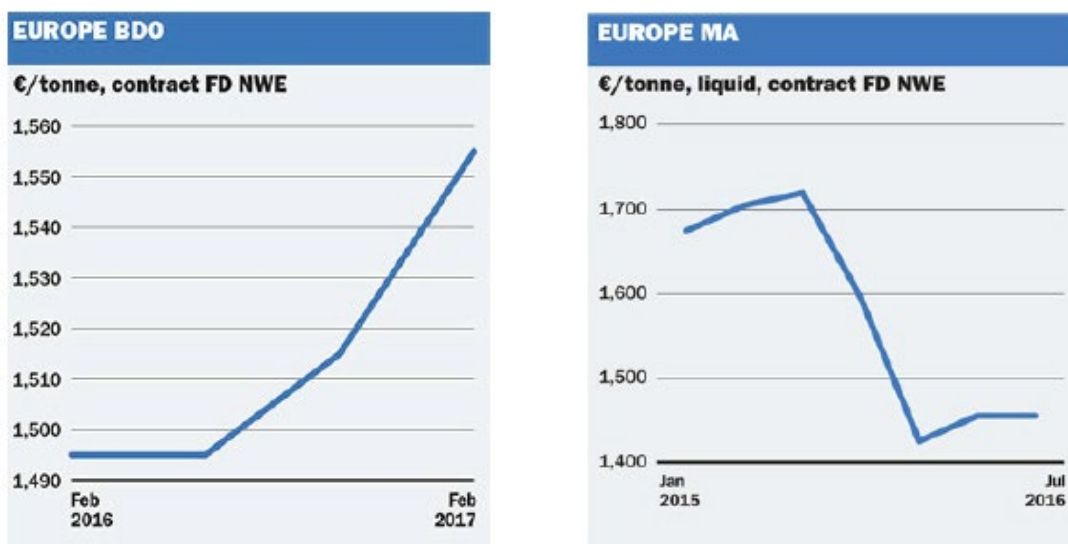


Figura 36. Gráficas de evolución de precios promedio de las materias primas (Fuentes: (84), (85))

Tabla 35. Análisis de sensibilidad de cambios en el precio de mercado

Precio MA	Precio BDO	Precio GBL	VAN	TIR	Payback (años)
+10 %	+0 %	+0 %	4.057.542,32 €	21,3 %	6,9
+10 %	+10 %	+10 %	15.048.746,78 €	52,6 %	2,7
+10 %	-10 %	-10 %	-6.933.662,15 €	-	-
+0%	+10 %	+10 %	23.689.356,51 €	87,9 %	1,7
+0%	-10 %	-10 %	1.706.947,58 €	15,1 %	9,9
-10 %	+0 %	+0 %	21.338.761,77 €	76,5 %	1,8
-10 %	+10 %	+10 %	32.329.966,24 €	156,1 %	1,3
-10 %	-10 %	-10 %	10.347.557,31 €	38,3 %	3,5

12.6.2. Variación en la inversión inicial

La segunda condición que se analiza es una variación en el préstamo inicial, tanto favorable como desfavorable. Se establece una variación promedio de un ± 25 %, al realizarse el presupuesto en una etapa temprana y susceptible a imprevistos, y los resultados se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 36. Análisis de sensibilidad de cambios en el precio de mercado

Capital inicial	VAN	TIR	Payback (años)
+25 %	11.136.115,55 €	34,3 %	4,0
-25 %	14.260.188,54 €	66,3 %	2,1

Sin sorpresas, un incremento en la inversión inicial disminuye el VAN y con ello, los beneficios netos de todo el ejercicio económico de la planta a lo largo de su vida útil. Además, se tarda más en recuperar el capital invertido. De forma análoga, una disminución en el capital inicial incrementa los beneficios y rentabilidad de la planta.

No obstante, ambos valores son positivos, la planta es rentable, y se concluye que la variación en el capital inicial no es relevante a la hora de evaluar la viabilidad económica del proyecto.

13. Estudio de seguridad en diseño y operación

En el apartado 10 de esta Memoria, se definen y diseñan los sistemas de control de la planta para minimizar los efectos de perturbaciones en el proceso y evitar situaciones que presenten peligrosidad. Dado que la seguridad perfecta no puede alcanzarse y los sistemas pueden fallar, es conveniente desarrollar un proceso que sea seguro inherentemente, es decir, que presente por sí mismo un bajo nivel de riesgo y de peligro en situaciones descontroladas (88).

A continuación, se analizan todas las consideraciones a tener en cuenta en el diseño de la instalación en base a la legislación vigente y se detallan los estudios oportunos conforme las guías NTP para obtener un proceso inherentemente seguro.

13.1. Clasificación de la instalación según CLP y la Directiva Seveso

Para clasificar la instalación, se siguen los criterios establecidos por el Real Decreto 840/2015, que traspone al ordenamiento jurídico español la directiva europea 2012/18/UE, conocida como Directiva Seveso III, que tiene por objeto la prevención de accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas, así como la limitación de sus consecuencias sobre la salud humana y el medio ambiente.

Las disposiciones del Real Decreto 840/2015 se aplican a los establecimientos definidos en el artículo 3 mostrados a continuación y que no quedan exentos por el artículo 2:

- Establecimiento: la totalidad del emplazamiento bajo el control de un industrial en el que se encuentren sustancias peligrosas en una o varias instalaciones, incluidas las infraestructuras o actividades comunes o conexas; los establecimientos serán de nivel inferior o superior.
- Establecimiento de nivel inferior: un establecimiento en el que haya presentes sustancias peligrosas en cantidades iguales o superiores a las especificadas en la columna 2 (umbral mínimo) de la parte 1 o de la parte 2 del anexo I, pero inferiores a las cantidades especificadas en la columna 3 (umbral máximo) de la parte 1 o de la parte 2 del anexo I.
- Establecimiento de nivel superior: un establecimiento en el que haya presentes sustancias peligrosas en cantidades iguales o superiores a las especificadas en la columna 3 (umbral máximo) de la parte 1 o de la parte 2 del anexo I.

En caso de que en ningún establecimiento esté presente alguna sustancia peligrosa en cantidad igual o superior al umbral mínimo, se debe aplicar la regla de la suma de sustancias peligrosas definida en la nota 4 del Real Decreto.

El anexo I se divide en dos partes:

- Parte 1: Categorías de peligro de conformidad con el Reglamento (CE) n° 1272/2008.
- Parte 2: Categorías de sustancias peligrosas nominadas (específicas).

La clasificación de las sustancias que se realiza en la parte 1 según el Reglamento 1272/2008 (en adelante conocido como reglamento CLP, acrónimo de clasificación, etiquetado y envasado en inglés), determina si una sustancia presenta propiedades que deban ser clasificadas como peligrosas y establece las bases para comunicar los peligros relacionados, de presentarse alguno, a través del etiquetado.

Se aplican tres criterios de peligrosidad para las sustancias: peligros físicos (Anexo I, parte 2), peligros para la salud (Anexo I, parte 3) y peligros para el medio ambiente (Anexo I, parte 4). La comunicación de los peligros en función de su clasificación se realiza mediante etiquetas que deben incluir:

- Identificador de la sustancia (Incluido el código CAS)
- Un pictograma
- Palabras de advertencia
- Indicaciones de peligro H (Anexo III)
- Consejos de prudencia P (Anexo IV)
- Información suplementaria EUH (Anexo VI)

En las siguientes tablas se presentan las características de las sustancias consideradas peligrosas de este proyecto según los criterios del Reglamento CLP y la Directiva Seveso:

Tabla 37. Clasificación de sustancias peligrosas según Reglamento CLP


Sustancia	Categoría CLP	Pictogramas CLP	Indicación de peligro
Hidrógeno (CAS 1333-74-0)	- Gas inflamable, cat.1 - Gases a presión, gas comprimido		H220: Gas extremadamente inflamable H280: Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento
1,4-Butanodiol (CAS 110-63-4)	- Toxicidad aguda (oral), cat. 4 - Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición única (efectos narcóticos), cat. 3		H302: Nocivo en caso de ingestión H336: Puede provocar somnolencia o vértigo
Anhídrido maleico líquido (CAS 108-31-6)	- Toxicidad aguda (oral), cat. 4 - Irritación cutánea, cat. 1B - Sensibilización respiratoria y cutánea cat. 1 - Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición única, cat. 1, 2 y 3		H302: Nocivo en caso de ingestión H314: Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves H317: Puede provocar reacción alérgica en la piel H334: Puede provocar síntomas de alergia o asma o dificultades respiratorias en caso de inhalación H372: Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas por inhalación H373: Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas
γ-Butirolactona (CAS 96-48-0)	- Toxicidad aguda (oral), cat. 4 - Lesiones oculares graves o irritación ocular, cat. 1 - Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición única (efectos narcóticos), cat. 3		H302: Nocivo en caso de ingestión H318: Provoca lesiones oculares graves H336: Puede provocar somnolencia o vértigo

Tabla 38. Clasificación de sustancias peligrosas según Directiva Seveso III

Sustancia	Categoría Seveso III	Cantidad en proceso (t)	Umbral inferior (t)	Umbral superior (t)	Clasifica
Hidrógeno (CAS 1333-74-0)	P2 – Gases inflamables	7,31	10	50	No
1,4-Butanodiol (CAS 110-63-4)	<i>No aplica</i>	-	-	-	-
Anhídrido maleico líquido (CAS 108-31-6)	H3 – STOT exposición única, cat. 1	288,96	50	200	Sí (Superior)
γ-Butirolactona (CAS 96-48-0)	<i>No aplica</i>	-	-	-	-

Las cantidades en proceso establecidas en la tabla 38 corresponden a un inventario para satisfacer la producción durante dos semanas en continuo. Para el hidrógeno, la cantidad corresponde a la recirculación, es decir, la cantidad suministrada en dos cargas iniciales sumado a una estimación de 5 kg/h de media de entrada de hidrógeno fresco al sistema por desbalance de las dos reacciones complementarias.

Con todo lo anterior, la instalación clasifica según la directiva Seveso como **establecimiento de nivel superior** por la manipulación de elevadas cantidades de anhídrido maleico líquido.

13.2. Estudio de reactividad química descontrolada

En este apartado se realizan estudios preliminares mediante métodos sencillos propuestos por la NTP 302 (89) acerca del sistema reactivo y la posibilidad de que se desarrollen reacciones descontroladas que puedan poner en peligro la integridad de la planta o de los operarios.

Se entiende por reacción peligrosa a aquella reacción que (90):

- Sea espontánea y violenta con liberación abrupta de energía.
- Produzca compuestos químicos que puedan resultar tóxicos, corrosivos o muy inflamables.
- Generan una gran cantidad de gases que puedan provocar sobrepresión en el sistema.

Las causas principales por la que se producen estas reacciones suelen ser por polimerización o descomposición de compuestos químicos, contacto con agua o aire, o bien por mezcla de sustancias incompatibles. Los equipos donde más riesgo existe de reacciones descontroladas son, generalmente, los que involucran mezcla o separación de componentes (columnas de destilación, tanques de mezcla...) y los equipos de almacenamiento y transporte.

13.2.1. Clasificación de los productos químicos según NFPA

La NFPA (National Fire Protection Association) es una entidad internacional voluntaria que desarrolla los estándares NFC (National Fire Codes) y promueve prácticas seguras de control de incendios. La norma NFPA 704 es el código gráfico que se emplea para comunicar los peligros de los compuestos químicos peligrosos, clasificados en función de la inflamabilidad, toxicidad, reactividad e indicaciones especiales (oxidante, corrosivo...).

El pictograma NFPA, también conocido como “diamante de materiales peligrosos”, es el siguiente:



Figura 37. Cuadro de identificación NFPA 704 (Fuente: (91))

Para las sustancias del proceso, los pictogramas NFPA se presentan en la tabla 39:

Tabla 39. Diamantes de clasificación NFPA 704 (Fuente: (92))

Sustancia	Diamante NFPA 704
Hidrógeno (CAS 1333-74-0)	
1,4-Butanodiol (CAS 110-63-4)	
Anhídrido maleico líquido (CAS 108-31-6)	
γ-Butirolactona (CAS 96-48-0)	

13.2.2. Estudio de compatibilidad química

El análisis compatibilidad química se realiza mediante un estudio de las relaciones de reactividad entre los distintos compuestos presentes en el proceso, comprobando las interacciones y las posibles reacciones inesperadas. El software empleado para el estudio es CRW Chemical Reactivity Worksheet v.4 (93), desarrollado por AIChE (American Institute of

Chemical Engineers), EPA (U.S. Environmental Protection Agency), NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), con colaboración de DOW Chemical y MTI (Material Technology Institute).

En la figura 38 se presenta la tabla de compatibilidades de las sustancias del proceso y su clasificación NFPA según el programa. Los recuadros verdes con una Y representan que dos sustancias son compatibles, los recuadros amarillos con una C indican que dos sustancias pueden ocasionar reacciones no deseadas según las condiciones de operación, y los recuadros en rojo con una N indican que dos sustancias son incompatibles porque derivan en reacciones peligrosas o que pueden provocar emisiones de productos corrosivos o tóxicos.

NFPA				Proceso Compatibility Chart				
Health	Flammability	Instability	Special		1,4-BUTANEDIOL	4-BUTYROLACTONE	HYDROGEN	MALEIC ANHYDRIDE
1	1	0		1,4-BUTANEDIOL				
1	2	0		4-BUTYROLACTONE	Y			
0	4	0		HYDROGEN	C	Y		
3	1	1		MALEIC ANHYDRIDE	C	Y	Y	
				WATER	Y	C	Y	N

Figura 38. Matriz de compatibilidad química obtenida del software CRW 4

A continuación, se detallan las interacciones en las que existe riesgo:

- **Hidrógeno/1,4-Butanodiol (C):** La base de datos del software informa de la reacción catalítica de deshidrogenación del 1,4-butanodiol, cuyo producto es hidrógeno gas, muy inflamable. Es por ello que propone extremar las precauciones.
- **Agua/ γ -Butirolactona (C):** Se produce la hidrólisis de la butirolactona en condiciones ácidas y básicas, como se menciona en el apartado 7.1.1.1 de la presente Memoria, generando ácidos corrosivos y sales de ácidos. Es por ello que se recomienda controlar el pH de la mezcla líquida en todo momento, aunque en condiciones normales de operación no debería existir ningún problema.
- **Anhídrido maleico/1,4-Butanodiol (C):** El software indica que la reacción entre ambas sustancias provoca una reacción exotérmica a temperatura ambiente. Observando la justificación a esta afirmación, el programa expone un extracto de la enciclopedia Kirk-Othmer donde se especifica que el anhídrido acético y los alcoholes reaccionan exotérmicamente para formar ésteres y ácidos carboxílicos. El anhídrido maleico no provoca dicha reacción química en presencia de alcoholes (29), por lo que el fundamento de riesgo entre ambas sustancias puede ser descartado.
- **Agua/Anhídrido maleico (N):** La única incompatibilidad que presenta el programa es entre estos dos compuestos, pues especifica que pueden provocar una reacción

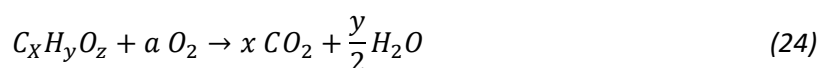
violenta, intensa y explosiva incluso a temperatura ambiente. Analizando la bibliografía de referencia, se muestra un extracto del libro Organic Chemistry (2002) de Marc Loudon, donde indica que los anhídridos ácidos reaccionan rápida y vigorosamente en disolución acuosa formando ácidos carboxílicos, incluso en ausencia de ácidos, bases u otros catalizadores.

Realizando una investigación bibliográfica más exhaustiva (5) (28), se comprueba que efectivamente se produce la hidrólisis del anhídrido maleico para formar ácido maleico, pero la velocidad de reacción es considerablemente menor en comparación con otros anhídridos y la reacción del ácido maleico no se considera peligrosa ni violenta. La justificación propuesta para este fenómeno es la fuerte interacción intermolecular de las moléculas de anhídrido maleico, debida principalmente a su estructura anular.

13.2.3. Criterio de riesgo por balance de oxígeno

El criterio de balance de oxígeno es un método desarrollado por Lathrop Handrick empleado para calificar el riesgo de las sustancias explosivas o susceptibles de combustión, realizando el cálculo del requerimiento en porcentaje de oxígeno necesario para provocar su oxidación completa.

Se emplea comúnmente en sustancias orgánicas de fórmula estequiométrica $C_xH_yO_z$, donde se calcula a partir de la fórmula empírica de la reacción de combustión:



$$\%BO = -\frac{1600}{M} \left(z - 2x - \frac{y}{2} \right) \quad (25)$$

Siendo M la masa molecular del compuesto en g/mol. Los criterios de evaluación son en base al equilibrio de oxígeno. Es decir, a medida que el porcentaje de BO se acerca a 0 % (punto de máximo equilibrio) el riesgo es máximo, y viceversa. Los rangos de cuantificación son los siguientes:

Tabla 40. Niveles de riesgo por balance de oxígeno

%BO	Nivel de riesgo
%BO < -240 y %BO > 160	Bajo
-240 < %BO < -120 y 160 > %BO > 80	Medio
-120 < %BO < 80	Alto

Aplicando el método a los compuestos orgánicos presentes en el proceso, se obtienen los resultados presentados en la tabla 41. Bajo este criterio, el sistema reactivo del proceso presenta un riesgo medio por la manipulación de anhídrido maleico.

Tabla 41. Cálculo del riesgo por el criterio del balance de oxígeno

Compuesto	% BO	Riesgo
1,4-Butanodiol ($C_4H_{10}O_2$)	195,3	Bajo
Anhídrido maleico ($C_4H_2O_3$)	97,9	Medio
γ -Butirolactona ($C_4H_6O_2$)	167,2	Bajo

13.3. Índice DOW de incendio y explosión

El índice DOW de incendio y explosión consiste en un método sencillo que permite evaluar de forma objetiva los riesgos de un proceso, determinando las áreas susceptibles a máximas pérdidas y el daño físico provocado en caso de incendio, explosión o reacción peligrosa. Fue desarrollado por la compañía DOW Chemical en el año 1966, y se ha ido actualizando en sucesivas ediciones. Se emplea como bibliografía de referencia la séptima edición, correspondiente al año 2005 (94).

La evaluación del riesgo se realiza mediante el cálculo del índice representativo de fuego y explosión, conocido como índice F&EI, de una unidad del proceso a partir de tres factores o consideraciones:

1. Factor del material
2. Riesgos generales en el proceso
3. Riesgos especiales del proceso

En los siguientes subapartados se desarrollan la metodología y criterios aplicados para el cálculo del índice DOW al reactor R-201, por considerarse una unidad relevante en el proceso.

13.3.1. Factor del material

El factor material (MF) es el primer valor que se calcula para obtener el índice F&EI, y representa una medida de la velocidad de liberación de energía del fuego o explosión producidos por combustión o reacción química.

Los valores MF individuales para algunas sustancias aparecen reflejados en el Anexo A de la guía DOW de referencia. En el caso de las sustancias presentes en el reactor R-201, están tabulados el anhídrido maleico (MF=14) y el hidrógeno (MF=21), pero no se disponen de datos de la γ -butirolactona ni del 1,4-butanodiol. Dado que el anhídrido maleico está presente en mayor medida a la entrada del reactor, será en esta zona en la que se enfoque este estudio.

Para obtener el factor material del 1,4-butanodiol, se hace uso de los índices de inflamabilidad (N_F) y de reactividad (N_R). Según las condiciones que se presentan en la guía, el 1,4-butanodiol presenta un índice $N_R=1$ (por descomposición) y un índice $N_F=0$, por lo que el MF obtenido de la Tabla 1 de la guía es de 14.

El factor de material de la mezcla de entrada se calcula de forma aproximada aplicando los factores de material individuales y el % en peso de cada compuesto a la entrada del reactor. El MF resultante es de 18.

13.3.2. Factor de riesgos generales en el proceso

El factor de riesgos generales (F1) determina la magnitud de un accidente, y se obtiene como la suma de índices de penalización aplicados según las consideraciones siguientes:

- Reacción química exotérmica: en el sistema reactivo se produce la reacción exotérmica de hidrogenación de anhídrido maleico en fase gas. Según los criterios de la guía DOW, se consideran a las hidrogenaciones como reacciones exotérmicas leves y se le debe aplicar un factor de penalización de 0,30.

- Reacción química endotérmica: como en el sistema reactivo también tiene lugar la reacción endotérmica de deshidrogenación de 1,4-butanodiol en fase gas, se le aplica una penalización de 0,20.
- Manejo y transferencia de material: este factor se aplica a las operaciones de mezcla, carga, descarga y almacenamiento de materiales en la unidad. Está asociado a las operaciones en discontinuo, por lo que no se aplica penalización en esta unidad.
- Unidades de proceso cubiertas o en locales cerrados: la instalación de este proceso está al aire libre, permitiendo una rápida disipación de gases inflamables y reduciendo la magnitud de una supuesta explosión, por lo que no se le aplica penalización.
- Acceso: la batería de proceso donde está situado el reactor dispone de al menos dos vías de acceso para los equipos de emergencia, por lo que no se aplica penalización.
- Control de drenajes y desagües: los compuestos del reactor están en fase gas, por lo que no se considera necesario el empleo de drenaje o un sistema de desagüe. De esta manera, no se le aplica penalización alguna.

13.3.3. Factor de riesgos especiales del proceso

El factor de riesgos especiales (F2) comprende a las condiciones de operación específicas que puedan ser causa principal de incidentes provocados por un incendio o una explosión. Los riesgos analizados y criterios de penalización otorgados se detallan a continuación:

- Materiales tóxicos: el componente más tóxico de la mezcla es el anhídrido maleico en fase gas (principalmente por inhalación, como puede observarse en la tabla 37), y se le otorga un factor $N_H=2$ según la guía. La penalización que se debe aplicar es de $0,20 \times N_H$ por lo que el valor total es 0,40.
- Presión subatmosférica: el reactor opera con una presión superior a la atmosférica, por lo que no se aplica penalización alguna según este criterio.
- Operación en condiciones de inflamabilidad o cercana a ellas: en condiciones normales de operación, la mezcla del reactor no se encuentra en el rango de inflamabilidad. No obstante, se considera que puede alcanzarse dicho estado en caso de entrada accidental del aire comprimido de los sistemas de control, por lo que se le otorga un factor de penalización de 0,30.
- Explosión por polvo: el proceso opera con fluidos y no con material particulado, por lo que no se considera necesario aplicar penalización.
- Alivio de presión: al operar a una presión superior a la atmosférica, se debe penalizar para compensar la exposición en función del incremento de la presión. El reactor dispone de una válvula de alivio con una presión de diseño de 2,24 bar (equivalente a 18 psig), por lo que la penalización que se aplica es de 0,20 multiplicado por 1,2 al tratarse de gases comprimidos, dando un total de 0,24.

- Baja temperatura: El reactor opera a +245 °C por lo que no se considera aplicar penalización bajo este criterio.
- Cantidad de material inflamable: la penalización se estima en base a la cantidad de hidrógeno que podría fugarse del reactor en 10 minutos (440 kg) multiplicado por el factor H_C que representa el calor de combustión del material y que puede obtenerse del anexo A de la guía DOW. En función del valor calculado se obtiene el valor de penalización, que en este caso es de 0,15, el mínimo establecido.
- Corrosión y erosión: la mezcla de entrada al reactor es muy corrosiva debido a la elevada presencia de hidrógeno, por lo que se le aplica una penalización de 0,50.
- Fugas por uniones y empaquetaduras: en el reactor se aplica una doble soldadura con eficacia del 100%, por lo que la penalización por riesgo de fuga es de 0,10.
- Uso de calentadores de llama abierta: no se considera penalización debido a que no se emplean este tipo de calentadores en el proceso.
- Sistema de intercambio con aceite térmico caliente: el intercambiador de calor que emplea aceite térmico caliente no se encuentra en el área de proceso del reactor, por lo que no se considera aplicar penalización.
- Equipos rotativos: dado que no se emplean compresores en las corrientes de entrada y salida del reactor, este factor de penalización no se aplica.

13.3.4. Evaluación del índice DOW

Con los valores de los factores de material MF, de riesgos generales F1 y de riesgos específicos F2 se puede obtener el valor del índice de incendio y explosión F&IE:

1. Se calcula el factor de riesgo de la unidad F3 como producto de los factores de riesgos generales del proceso F1 y del factor de riesgos especiales del proceso F2.
2. Se obtiene el índice de incendio y explosión F&IE como producto del factor de material MF y del factor de riesgo de la unidad F3.

En la tabla 43 se presenta la evaluación de la planta química en función de dichos valores. Para cuantificar el riesgo de la instalación en función de dicho valor obtenido, se emplean los rangos de la tabla siguiente:

Tabla 42. Nivel de riesgo en función del índice F&EI

Valor del índice F&EI	Riesgo
1 – 60	Bajo
61 – 96	Moderado
97 – 127	Intermedio
128 – 158	Alto
> 159	Severo

Tabla 43. Evaluación del índice DOW para el reactor R-201

Instalación: Planta de producción de γ -butirolactona	Unidad de proceso: Reactor R-201	Fecha: Febrero 2019
Materiales en la unidad: Anhídrido maleico, hidrógeno, 1,4-butanodiol, γ -butirolactona y vapor de agua.	Estado de operación: Diseño	Realizado por: Fernando José Rodríguez Piñón
FACTOR MATERIAL (MF)		18
1. RIESGOS GENERALES EN EL PROCESO	Rango de penalización	Penalización aplicada
FACTOR BASE	1,00	1,00
A. Reacción exotérmica	0,30 a 1,25	0,30
B. Reacción endotérmica	0,20 a 0,40	0,20
C. Transferencia y manejo de materiales	0,25 a 1,05	0,00
D. Unidades de proceso cubiertas	0,25 a 0,90	0,00
E. Acceso	0,20 a 0,35	0,00
F. Control de drenajes y desagües	0,25 a 0,50	0,00
FACTOR DE RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (F1)		1,50
2. RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO		
FACTOR BASE	1,00	1,00
A. Materiales tóxicos	0,20 a 0,80	0,40
B. Presión subatmosférica	0,50	0,00
C. Operación en o cerca de condiciones de inflamabilidad		
1. Líquidos inflamables almacenados en tanques	0,50	0,00
2. Alteración del proceso o fallo de purga	0,30	0,30
3. Siempre en condiciones de inflamabilidad	0,80	0,00
D. Explosión por polvo	0,25 a 2,00	0,00
E. Presión Presión op: 18 psig		0,24
F. Baja temperatura	0,20 a 0,30	0,00
G. Cantidad de material inflamable Cantidad: 970 lb Hc = 51600 BTU/lb		
1. Líquidos o gases en proceso		0,15
2. Líquidos o gases almacenados		0,00
3. Sólidos combustibles almacenados		0,00
H. Corrosión y erosión	0,10 a 0,75	0,50
I. Fugas por uniones y empaquetaduras	0,10 a 1,50	0,10
J. Uso de calentadores de llama abierta		0,00
K. Sistema de intercambio térmico con aceite caliente	0,15 a 1,15	0,00
L. Equipos rotativos	0,50	0,00
FACTOR DE RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO (F2)		2,69
FACTOR DE RIESGO DE LA UNIDAD (F1 x F2 = F3)		4,04
ÍNDICE DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN (F1 x MF = F&EI)		72,72

El índice F&EI calculado corresponde con un nivel de riesgo moderado. Adicionalmente, puede determinarse a raíz del valor de F&EI y la figura 39 el radio de exposición en caso de que tuviera lugar un incidente provocado por un incendio o una explosión en el equipo.

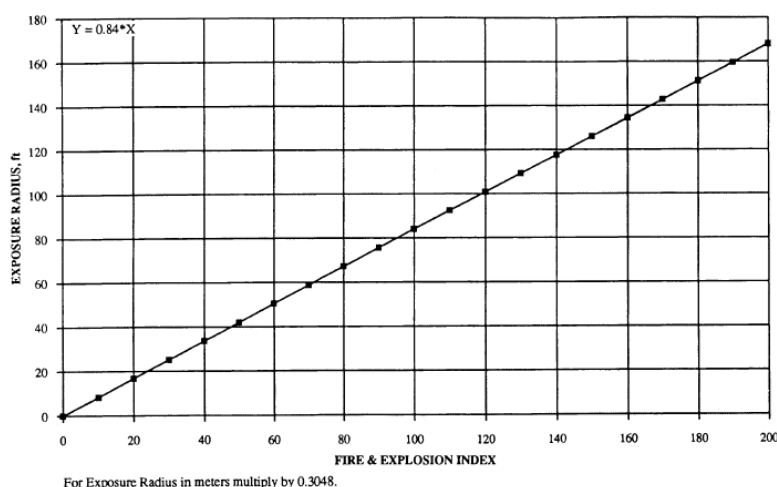


Figura 39. Radio de afectación en función del índice F&EI

El radio de afectación es de aproximadamente 60 ft, que corresponde a 18,28 m. Cualquier incendio o explosión en esta unidad podría afectar a las unidades colindantes, por lo que es necesario disponerlas salvaguardando ciertas distancias de seguridad que minimicen las pérdidas en caso de incidente.

13.4. Distancias de seguridad

El estudio de las distancias de seguridad mínimas entre cada unidad del proceso se realiza con apoyo de las recomendaciones proporcionadas por GE Global Asset Protection Services (GAPS) para plantas químicas, en concreto las guías GE GAP 2.5.2/2A. (95)

Las figuras 40 y 41 representan las distancias recomendadas de seguridad entre secciones de la instalación y entre equipos del proceso, respectivamente, definidas en función al potencial riesgo de incidente de cada unidad por incendio o explosión. Las secciones en las que se divide la instalación se detallan en el apartado 6.1 de la presente memoria.

Las distancias que se recomiendan no son definitivas y pueden estar sujetas a cambios dependiendo del proceso y de las condiciones de operación de la planta química. También hay que tener en cuenta en el diseño de la instalación las distancias mínimas requeridas para evitar exponer los equipos a los radios de afectación en caso de accidente, como se ha analizado en el apartado anterior.

Teniendo en cuenta todos los criterios anteriores, se presenta en la tabla 44 las medidas de distancia entre los distintos equipos del proceso. Estas distancias mínimas de seguridad son respetadas a la hora de realizar el diseño del plano de implantación expuesto en el Documento II. Planos, de este proyecto.

Service Buildings																	
Major Control Centers And Electrical Substations																	
Utilities Areas																	
Cooling Towers																	
Control Rooms																	
Compressor Buildings																	
Large Pump Houses																	
Process Units Moderate Hazard																	
Process Units Intermediate Hazard																	
Process Units High Hazard																	
Atmospheric Storage Tanks																	
Pressure Storage Tanks																	
Refrigerated Dome Roof																	
Flares																	
Unloading And Loading Racks																	
Fire Water Pumps																	
Fire Stations																	
/																	
/	/																
50	50	/															
50	50	100	50														
/	/	100	100	/													
100	100	100	100	100	30												
100	100	100	100	100	30	30											
100	100	100	100	100	30	30	50										
200	100	100	100	200	50	50	100	100									
400	200	200	200	300	100	100	200	200	200								
250	250	250	250	250	250	250	250	300	350	*							
350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	*	*						
350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	*	*	*					
300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	400	400	/				
200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	300	250	350	350	300	50		
50	50	50	50	50	50	200	200	200	300	300	350	350	350	300	200	/	
50	50	50	50	50	50	200	200	200	300	300	350	350	350	300	200	/	/

Figura 40. Distancias recomendadas de seguridad entre secciones de la instalación (ft)

																Compressors																
																Intermediate Hazard Pumps																
																High Hazard Pumps																
30																High Hazard Reactors																
																Intermediate Hazard Reactors																
30	5															Moderate Hazard Reactors																
50	5	5														Columns, Accumulators, Drums																
50	10	15	25													Run-down Tanks																
50	10	15	25	15												Fired Heaters, Incinerators, Oxidizers																
50	10	15	25	15	15											Air Cooled Heat Exchanger																
50	10	15	50	25	25	15										Heat Exchangers																
100	100	100	100	100	100	100	100	100								Pipe Racks																
50	50	50	50	50	50	50	50	100	25							Emergency Exchangers																
30	15	15	25	15	15	15	15	100	50	/						Unit Block Valves																
30	10	15	25	15	10	10	100	50	15	5					Analyzer Rooms																	
30	10	15	25	15	10	10	100	50	/	10	/																					
50	50	50	100	50	50	50	100	50	50	50	50	/																				
50	50	50	100	50	50	50	100	50	50	50	50	/	/																			
50	50	50	50	50	50	50	100	50	50	50	50	/	/	/																		

Figura 41. Distancias recomendadas de seguridad entre equipos del proceso (ft)

Tabla 44. Distancias de seguridad entre equipos del proceso (m)

	E-101	E-102	K-101	K-102	V-101	R-201	E-301	V-301	P-301A/B	T-301	E-302	V-302	P-302A/B	E-303	K-401	E-401
E-101																
E-102	1,5															
K-101	9	9														
K-102	9	9	9													
V-101	3	3	15	9												
R-201	3	3	15	15	7,6											
E-301	1,5	1,5	9	9	3	3										
V-301	3	3	15	15	3	7,6	3									
P-301A/B	3	3	9	9	3	3	3	3	1,5							
T-301	3	3	15	15	4,6	7,6	3	4,6	3							
E-302	1,5	1,5	9	9	3	3	1,5	3	3	3						
V-302	3	3	15	15	3	7,6	3	3	3	3	3					
P-302A/B	3	3	9	9	3	3	3	3	1,5	3	3	3	1,5			
E-303	1,5	1,5	9	9	3	3	1,5	3	3	3	1,5	3	3			
K-401	9	9	9	9	15	15	9	15	9	15	9	15	9	9		
E-401	1,5	1,5	9	9	3	3	1,5	3	3	9	1,5	3	3	1,5	9	

13.5. Dimensionamiento de las válvulas de alivio

En este trabajo se diseña la válvula de alivio PSV/204 correspondiente al reactor R-201. El dimensionamiento se realiza según la normativa API 520 de dimensionado, selección e instalación de dispositivos de alivio de presión en refinerías, y el código ASME BPV Sección VIII Div. 1 para recipientes a presión.

Para diseñar la válvula se considera un aumento en la presión dentro del recipiente derivado principalmente de una generación excesiva de gases, lo que conlleva un predominio de la reacción endotérmica de deshidrogenación del 1,4-butanodiol. Otros escenarios posibles suponen el aumento de presión por la dificultad de paso en el lecho catalítico, un atasco en la tubería de salida del reactor o entrada accidental de aire.

Los cálculos del dimensionamiento se realizan en el Anexo II. Cálculos justificativos, donde se detalla el método, las consideraciones empleadas y los resultados obtenidos.

13.6. Estudio HAZID

El HAZID (HAZard IDentification) es un estudio general de identificación de peligros que se suele integrar en los proyectos en una etapa temprana. Se analizan las posibles amenazas y riesgos en el proceso basándose en probabilidades y consecuencias, además de mencionar los métodos de actuación recomendados (90).

Una vez que el proyecto se encuentre en una fase de desarrollo más avanzada, sería conveniente realizar un estudio más completo tipo HAZOP, con participación de personal de ingeniería y de otros campos, que determine adecuadamente todos los posibles escenarios de peligro.

El método consiste en descubrir y analizar los factores que evitan que el sistema considerado no funcione según los objetivos de diseño establecidos, aplicando de forma sistemática unas palabras guía asociadas a las variables relevantes del proceso. Las principales palabras guía se muestran en la siguiente tabla junto a su significado:

Tabla 45. Palabras guía del estudio HAZID/HAZOP

Palabra guía	Significado
NO	Ausencia de la variable a la cual se aplica.
MÁS	Aumento cuantitativo de una variable.
MENOS	Disminución cuantitativa de una variable.
INVERSO	Efecto contrario al que se pretende en una variable.
ADEMÁS DE	Aumento cualitativo. Se ve añadido algo más al sistema.
PARTE DE	Disminución cualitativa. Sólo una parte de la función deseada es realizada
DIFERENTE DE	Actividades distintas respecto a la operación normal.

El análisis de riesgo de este proyecto se va a realizar para el reactor R-201, pues opera con compuestos inflamables y se considera una etapa crítica del proceso. En la tabla 46 se muestra el informe detallado.

Tabla 46. Informe HAZID asociado al reactor R-201

Palabra guía	Variable	Causas	Consecuencias	Medidas
NO	Caudal	1. Fallo en los lazos de control de entrada de reactivos	Paralización del proceso	Mantenimiento de los lazos y controles periódicos del estado de las conducciones
		2. Rotura en las conducciones y fugas		
MÁS	Caudal MA	Fallo en el lazo de control LIC/102	1. Sistema reactivo desequilibrado	1. Mantenimiento correcto del lazo y controles periódicos
			2. Menor temperatura de entrada al reactor	2. Control manual en caso de emergencia
			3. Formación de hotspots y degradación del catalizador	
	Caudal BDO	Fallo en el lazo de control LIC/101	1. Sistema reactivo desequilibrado	1. Mantenimiento correcto del lazo y controles periódicos
			2. Menor temperatura de entrada al reactor	2. Control manual en caso de emergencia
			3. Posible sobrepresión en el sistema por generación de gases	
	Temperatura	Fallo en los lazos de control FIC/103, FIC/104 o TIC/403	1. Degradación del catalizador	Mantenimiento correcto del lazo y controles periódicos
			2. Mayor Tª salida del reactor y más caudal de agua en E-301	

Tabla 46. Informe HAZID asociado al reactor R-201 (continuación)

Palabra guía	Variable	Causas	Consecuencias	Medidas
MÁS	Presión	Fallo en los lazos de control PIC/105, PIC/106 o PIC/402	1. Posible sobrepresión si se desequilibra el sistema reactivo	1. Alarma PAH/203
			2. Más caudal de agua en E-301	2. Válvula de alivio PSV/204
MENOS	Caudal MA	Fallo en los lazos de control LIC/102 y/o FIC/104	1. Sistema reactivo desequilibrado	Mantenimiento correcto del lazo y controles periódicos
			2. Menor cantidad de producción	
			3. Aumento de la temperatura de entrada al reactor	
	Caudal BDO	Fallo en los lazos de control LIC/101 y/o FIC/103	1. Sistema reactivo desequilibrado	Mantenimiento correcto del lazo y controles periódicos
			2. Menor cantidad de producción	
			3. Aumento de la temperatura de entrada al reactor	
	Temperatura	Fallo en el lazo de control TIC/403	Disminución de la conversión y selectividad	Mantenimiento correcto del lazo y controles periódicos
	Presión	Fallo en los lazos de control PIC/105, PIC/106 o PIC/402	1. Posibilidad de presión de salida por debajo de la atmosférica	Mantenimiento correcto del lazo y controles periódicos de los compresores
			2. Equipos no diseñados para trabajar en vacío	
PARTE DE	Conversión y selectividad	Degradación del catalizador	Menor cantidad de producción	Realizar una parada en el proceso y añadir una nueva carga al reactor
DIFERENTE DE	Temperatura alta en pared exterior	Aislante poco efectivo	Radiación a los equipos colindantes y operarios	Intercambio del material aislante por uno nuevo
	Corrosión	Orificio en la pared del reactor	Fuga de gases	Dimensionamiento en escenario de fuga

14. Referencias

1. **Ullmann, Fritz.** *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim : Wiley-VCH, 2006. ISBN 3527313184.
2. **Russell E. Malz, Jr.** *Catalysis of Organic Reactions*. Nueva york : Marcel Dekker, Inc, 1996. ISBN 9780824727291.
3. **Klaus Weissermel, Hans-Jürgen Arpe.** *Industrial Organic Chemistry*. Weinheim : VCH Publishers Inc, 1997. ISBN 3527288384.
4. *Selective hydrogenation of maleic anhydride by modified copper chromite catalysts.* **G.L. Casitglioni, M. Gazzano, G. Stefani, A. Vaccari.** Bolonia, Italia : Elsevier, 1993, Vol. Heterogeneous Catalysts and Fine Chemicals III. ISBN 0444890637.
5. **Musa, Osama M.** *Handbook of Maleic Anhydride Based Materials: Synthesis, Properties and Applications*. New Jersey : Springer, 2016. ISBN 9783319294537.
6. **Harold A. Wittcoff, Bryan G. Reuben, Jeffery S. Plotkin, Jeffrey S.. Plotkin.** *Industrial Organic Chemicals*. New Jersey : Wiley Interscience, 2004. ISBN 0471443859.
7. **Carlo Fumagalli, Gian Luca Castiglioni.** *Process for the production of gamma-butyrolactone.* WO1999035139A1 Italia, 4 de Enero de 1999.
8. **Lishan Tong, Haijing Wang, Weisun Feng, Guoqiang Gao, Xiangwei Li, Jinghui Deng, Xinjie Zhang.** *Process for the preparation of gamma-butyrolactone* . US5637735A China, Estados Unidos, 10 de Agosto de 1994.
9. **Georg Michalczyk, Karl-Heinz Gluzek.** *Catalysts for convering maleic anhydride to alpha-butyrolactone.* US3948805A Estados Unidos, 3 de Agosto de 1973.
10. **Gian L Castiglioni, Carlo Fumagalli.** *Process for the production of gamma-butyrolactone.* US6297389B1 Italia, 10 de Octubre de 2001.
11. *Kinetics Study on Maleic Anhydride Gas-Phase Hydrogenation to g-Butyrolactone.* **Zhao Gang-wei, Zhu Yu-lei, Teng Bo-tao, Zheng Hong-yang, Ziang Hong-wei, Li Yong-wang.** 5, Beijing, China : s.n., 2006, Vols. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, vol. 20.
12. *Improved processing stability in the hydrogenation of dimethyl maleate to γ -butyrolactone, 1,4-butanediol and tetrahydrofuran.* **Christoph Ohlinger, Bettina Kraushaar-Czarnetzki.** 8, New Jersey : ElSevier, 2003, Vols. Chemical Engineering Science, vol. 58.
13. *A novel route for synthesis of g-butyrolactone through the coupling of.* **Zhu Yu-lei, Xiang Hong-wei, Wu Gui-sheng, Bai Liang, Li Yong-wang.** Shanxi, People's Republic of China : Advance Article, 2002, Vol. Chem. Commun. DOI: 10.1039/b109658n.
14. *Integrated process for γ -butyrolactone production.* **Athesham, Javaid y Sorin Bildea, Costin.** 3, 2014, Vols. U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 76. ISSN 1454-2331.
15. *Design and Control of an Integrated 1,4-Butanediol Dehydrogenation and Furfural Hydrogenation Plant.* **Athesham, Javaid y Sorin Bildea, Costin.** 9, Bucarest, Rumania : Wiley VCH, 2014, Vols. Chem. Eng. Technol., vol. 37. DOI: 10.1002/ceat.201400210.

16. **H. Langeveld, J. Sanders.** *The Biobased Economy: Biofuels, Materials and Chemicals in the Post-oil Era*. Bristol, Reino Unido : Earthscan, 2010. ISBN: 978-1-84407-770-0.
17. **Mitsubishi Chemicals.** Mitsubishi Chemical Technology License Department official site. [En línea] [Citado el: 18 de Diciembre de 2018.] <http://www.mcc-license.com/technologies/>.
18. *Detection of Gamma-Butyrolactone (GBL) as a Natural Component in Wine.* **Vose James, Tighe Tara, Schwartz Margaret, Buel Eric.** 5, 2001, Vols. Journal of Forensic Sciences, vol. 46. DOI: 10.1520/JFS15116J.
19. **World Health Organization.** *Gamma-butyrolactone (GBL) - Critical Review Report*. Genova : Expert Committee on Drug Dependence Thirty-sixth Meeting, 2014.
20. **Lyng, Eric E.** *gamma Hydroxybutyrate (GHB): Mechanism of Central Nervous System Toxicity*. Baylor : s.n., 2006.
21. **Søderlund, Erik.** *γ-Butyrolactone (GBL)*. Estocolmo, Suecia : Arbete och Hälsa, 2004. ISBN 9170457166.
22. *Art of olide lactones to control over malarial tones.* **Kinsuk Sarker, Apurbo Sarker, Arittra Ghosh, Heta Shah, Rutvi Patel, Rajat Chaudhary.** 11, Gujarat, India : European Journal of Biomedical, 2016, Vol. 3. ISSN 2349-8870.
23. **Fernandez, Germán.** Química orgánica. [En línea] [Citado el: 12 de Diciembre de 2018.] <https://www.quimicaorganica.org/esteres/450-hidrolisis-de-lactonas.html>.
24. **Markets Insider.** Global 1,4-butanediol (BDO) Market 2017-2021 with Focus on the Chinese Industry. [En línea] 14 de Agosto de 2017. [Citado el: 19 de Diciembre de 2018.] <https://markets.businessinsider.com/news/stocks/global-1-4-butanediol-bdo-market-2017-2021-with-focus-on-the-chinese-industry-1002255620>.
25. **Rase, Howard F.** *Handbook of Commercial Catalysts: Heterogeneous Catalysts*. Austin, Texas : CRC Press LLC, 2000. ISBN 0-8493-9417-1.
26. **Merchant Research & Consulting Ltd.** Global Maleic Anhydride Consumption. [En línea] 13 de Diciembre de 2013. [Citado el: 22 de Diciembre de 2018.] <https://mcgroup.co.uk/news/20131213/global-maleic-anhydride-consumption-registered-35-yoy-increase.html>.
27. **Spivey, James J.** *Catalysis*. Cambridge, Reino Unido : The Royal Society of Chemistry, 2005. ISBN 0-85404-234-2.
28. **B.C. Trivedi, B.M.Culbertson.** *Maleic Anhydride*. New York : Springer, 1982. ISBN 978-1-4757-0942-1.
29. **Ministerio de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.** IDEAM Virtual. [En línea] 2011. [Citado el: 23 de Diciembre de 2018.] <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia6.pdf>.
30. **Tabak, John.** *Natural Gas and Hydrogen*. New York : Facts on File, 2009. ISBN 978-0-8160-7084-8.
31. **Zohuri, Bahman.** *Hydrogen Energy: Challenges and Solutions for a Cleaner Future*. Cham, Suiza : Springer, 2018. ISBN 978-3-319-93461-7.

32. **Benjamin K. Sovacool, Michael H. Dworkin.** *Global Energy Justice*. Cambridge : Cambridge University Press, 2014. ISBN 978-1-107-04195-0.
33. **Chemistry LibreTexts.** Chemistry LibreTexts. [En línea] 3 de Agosto de 2015. [Citado el: 24 de Diciembre de 2018.] [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Supplemental_Modules_\(Inorganic_Chemistry\)/Descriptive_Chemistry/Main_Group_Reactions/Reactions_of_Main_Group_Elements_with_Hydrogen](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Supplemental_Modules_(Inorganic_Chemistry)/Descriptive_Chemistry/Main_Group_Reactions/Reactions_of_Main_Group_Elements_with_Hydrogen).
34. **Broom, Darren P.** *Hydrogen Storage Materials: The Characterisation of Their Storage Properties*. Ohio, Estados Unidos : Springer, 2011. ISBN 978-0-85729-221-6.
35. **MAHYTEC.** Compressed Hydrogen Storage. [En línea] [Citado el: 2 de Enero de 2019.] <http://www.mahytec.com/en/products/compressed-hydrogen-storage/>.
36. **BASF Chemicals.** Ubicaciones BASF Chemicals. [En línea] [Citado el: 28 de Diciembre de 2018.] <https://www.basf.com/es/es/who-we-are/BASF-en-Espan-a/Ubicaciones.html>.
37. **LyondellBasell.** LyondellBasell Tarragona. [En línea] [Citado el: 2018 de Diciembre de 29.] <https://www.lyondellbasell.com/es/tarragona-site/>.
38. **European Comission: Market Access Database.** Trade Flow Statistics: 1,4-butanediol. [En línea] 2018. [Citado el: 2 de Enero de 2019.] http://madb.europa.eu/madb/statistical_form.htm.
39. **Ilustre Ayuntamiento de San Roque.** Cepsa Química, S.A. [En línea] [Citado el: 14 de Diciembre de 2018.] <https://www.sanroque.es/content/cepsa-qu-mica-sa>.
40. **El País.** CEPSA invertirá 3.500 millones en una planta en Algeciras. [En línea] 20 de Octubre de 1988. [Citado el: 29 de Diciembre de 2018.] https://elpais.com/diario/1988/10/20/economia/593305219_850215.html.
41. **INDHO.** Primera planta de hidrógeno 'verde' para automoción. [En línea] 21 de Febrero de 2018. [Citado el: 2018 de Diciembre de 30.] <http://www.indho.cl/primera-planta-hidrogeno-verde-automocion/>.
42. **The Linde Group.** Linde Engineering - Hydrogen. [En línea] [Citado el: Diciembre de 25 de 2018.] https://www.linde-engineering.com/en/process_plants/hydrogen_and_synthesis_gas_plants/gas_products/hydrogen/index.html.
43. —. Hydrogen. [En línea] [Citado el: 25 de Diciembre de 2018.] https://www.linde-engineering.com/en/images/H2_1_1_e_12_150dpi_NB_tcm19-4258.pdf.
44. —. Linde Worldwide. [En línea] [Citado el: 26 de Diciembre de 2018.] <https://www.linde-worldwide.com/en/index.html>.
45. **Syngenta.** Syngenta en España. [En línea] 2018. [Citado el: 29 de Noviembre de 2018.] <https://www.syngenta.es/acerca-de-syngenta/syngenta-en-espana>.
46. **FOODRETAIL.** Henkel da nueva vida a su planta de Montornés del Vallés. [En línea] 25 de Julio de 2018. [Citado el: 29 de Noviembre de 2018.] https://www.foodretail.es/fabricantes/henkel-ampliacion-fabrica-montornes-del-valles_0_1239476072.html.

47. **GREENFISH.** Lithium-ion batteries: delivering transition solutions to different sectors. [En línea] 2018. [Citado el: 30 de Noviembre de 2018.] <https://www.greenfish.eu/lithium-ion-batteries-delivering-transition-solutions-to-different-sectors/>.
48. **Catálogo Industrial de la Bahía de Algeciras.** Guadarranque. [En línea] 2019. [Citado el: 4 de Enero de 2019.] <http://www.industrialalgecirasbay.com/es/recurso/guadarranque>.
49. **SEPES - Entidad Pública Empresarial de Suelo.** Buscador de suelo. [En línea] 2019. [Citado el: 3 de Enero de 2019.] <https://www.sepes.es>.
50. **AEMET.** Valores climatológicos normales. Jerez de la Frontera Aeropuerto. [En línea] 2018. [Citado el: 4 de Enero de 2019.] <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=5960&k=and>.
51. **Datosclima.** Base de datos AEMET. Viento en tarifa. [En línea] 2018. [Citado el: 4 de Enero de 2019.] <https://datosclima.es/Aemethistorico/Viento.php>.
52. **WindAlert.** Wind Archives - Tarifa. [En línea] 2018. [Citado el: 4 de Enero de 2019.] <https://windalert.com/spot/15778>.
53. **Instituto Geográfico Nacional.** Mapas de Sismicidad y peligrosidad. [En línea] 2019. [Citado el: 4 de Enero de 2019.] <http://www.ign.es/web/mapas-sismicidad>.
54. **Watchers of Markets .** Global gamma-Butyrolactone Market Outlook 2017-2022. [En línea] 2018. [Citado el: 11 de Noviembre de 2018.] <https://watchersofmarkets.com/products/global-gamma-butyrolactone-market-outlook-2017-2022>.
55. **Corkery, J.M., Loi, B., Claridge, H., Goodair, C., Corazza, O., Elliott, S., Schifano, F.** *Gamma hydroxybutyrate (GHB), gamma butyrolactone (GBL) and 1,4 butanediol (1,4-BD; BDO): A literature review with a focus on UK fatalities related to non-medical use.* New Jersey : Elsevier, 2015. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2015.03.012.
56. **Chemical Industry Knowledge Service System.** Perspectiva del mercado de γ -butirolactona de China (我国 γ -丁内酯后市预报). [En línea] 2005. [Citado el: 17 de Diciembre de 2018.] <http://106.3.149.164/article/details/9cb8aaf8-faf1-4c77-928c-645dd0def31f>.
57. **Books LLC.** *Pyrrolidones: Polyvinylpyrrolidone, Piracetam, Cotinine, Rolipram, Levetiracetam, Methylpyrrolidone, Phenylpiracetam, Doxapram, Brivaracetam.* New Jersey : General Books LLC, 2010. ISBN 1155581563.
58. **Market RESEARCH Store.** Global Pyrrolidone Market Set for Rapid Growth, To Reach Around USD 2.50 Billion by 2020. [En línea] 2016. [Citado el: 18 de Diciembre de 2018.] <https://www.marketresearchstore.com/news/global-pyrrolidone-market-181>.
59. **GRAN VIEW RESEARCH.** N-Methyl-2-Pyrrolidone (NMP) Market Analysis By Application (Oil & gas [Butadiene Recovery, BTX Extraction], Pharmaceuticals [Solvent, Penetration Enhancer], Electronics, Paints & Coatings, Agrochemicals), By Region, And Segment Forecasts, 2018 - 2025. [En línea] 2016. [Citado el: 18 de Diciembre de 2018.] <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/n-methyl-2-pyrrolidone-nmp-market>.
60. **Research and Markets.** Global Pesticide Market - By Regions and Vendors - Market Size, Demand Forecasts, Industry Trends and Updates, Supplier Market Shares 2014- 2020. [En línea]

2015. [Citado el: 11 de Diciembre de 2018.] <https://www.researchandmarkets.com/reports/3338864/global-pesticide-market-by-regions-and-vendors>.

61. **Mordor Intelligence.** Crop Protection Chemicals (Pesticides) Market - Europe Market Shares, Trends and Forecasts (2017 - 2022). [En línea] 2017. [Citado el: 11 de Diciembre de 2018.] <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/europe-crop-protection-pesticides-market-industry>.

62. **Our World in Data.** Fertilizer and Pesticides. [En línea] 2018. [Citado el: 12 de Diciembre de 2018.] <https://ourworldindata.org/fertilizer-and-pesticides>.

63. **Mickey Brigance, Greg McManic, Tim Anderson, Mike Pompeo, Wally Thorne.** *Pesticide solvent system for reducing phytotoxicity* . US20060058191A1 Estados Unidos, 16 de Marzo de 2006.

64. **Andreas Rochling, Frank Rosenfeldt.** *Agrochemical formulations* . US7655599B2 Estados Unidos, 2 de Febrero de 2010.

65. **Zion Market Research.** Lithium-Ion Battery Market To Flourish And Settle On USD 67.70 Billion by 2022. [En línea] 18 de Septiembre de 2018. [Citado el: 20 de Diciembre de 2018.] <https://www.zionmarketresearch.com/news/lithium-ion-battery-market>.

66. **Fact Sheet.** Japanese Government Incentives For The Purchase Of Environmentally Friendly Vehicles. [En línea] 2009. [Citado el: 20 de Diciembre de 2018.] <https://web.archive.org/web/20101226222150/http://www.jama.org/pdf/FactSheet10-2009-09-24.pdf>.

67. **China Economic Review.** China announces new electric car subsidy program. [En línea] 2016. [Citado el: 21 de Diciembre de 2018.] <https://web.archive.org/web/20131217055135/http://www.chinaeconomicreview.com/node/64577#>.

68. **Business Insider.** Tesla is investing \$350 million in its giant Gigafactory and hiring hundreds of workers. [En línea] 2017. [Citado el: 21 de Diciembre de 2018.] <https://www.businessinsider.com/tesla-investing-350-million-gigafactory-hiring-500-workers-2017-1?IR=T>.

69. **Lithium Energy Japan.** Products Information. [En línea] 2018. [Citado el: 21 de Diciembre de 2018.] <https://www.lithiumenergy.jp/en/products/>.

70. **Hiroshi Tasai, Seiji Nemoto.** *Electric storage device and electric storage apparatus* . US10122053B2 Estados Unidos, 6 de Noviembre de 2018.

71. **Der Pharma Chemica.** Ciprofloxacin: A Two Step Process. [En línea] 2018. [Citado el: 22 de Diciembre de 2018.] <https://www.derpharmachemica.com/pharma-chemica/ciprofloxacin-a-two-step-process-14859.html>.

72. **W.H. Sebrell, jr. R. S. Harris.** *The Vitamins - Chemistry, Physiology, Pathology, Methods: Volume 5*. New York : Academic Press, 1971. ISBN: 9781483220130 .

73. **European Comission - Market Access Database.** Statistics Butyrolactone. [En línea] 2018. [Citado el: 17 de Diciembre de 2018.] http://madb.europa.eu/madb/statistical_form.htm.

74. **Federación Empresarial de la Industria Química Española (feiQue).** *Radiografía del Sector Químico Español*. 2018.

75. **La Voz de Galicia.** Galicia vuelve a ser objetivo europeo de los fabricantes de baterías de litio. [En línea] 15 de Noviembre de 2017. [Citado el: 8 de Septiembre de 2018.] https://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/economia/2017/11/15/galicia-vuelve-objetivo-europeo-fabricantes-baterias-litio/0003_201711G15P28991.htm.

76. **Sánchez, J. Acedo.** *Instrumentación y control básico de procesos*. Madrid : Diaz de Santos, 2006. ISBN 84-7978-759-7.

77. **Stephanopoulos, G.** *Chemical Process Control - An Introduction to Theory and Practice*. New Jersey : Prentice Hall, 1984. ISBN: 978-0131286290.

78. *Novel applications of reaction coupling: use of carbon dioxide to shift the equilibrium of dehydrogenation reactions.* **G. Towler, S. Lynn.** 16, Manchester : Elsevier Science, 1994, Vols. Chemical Engineering Science, vol.49. DOI: [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(94\)E0074-Z](https://doi.org/10.1016/0009-2509(94)E0074-Z).

79. *Integrated design and control of plantwide systems coupling exothermic and.* **P. Altimari, C. S. Bildea.** Bucarest, Rumania : Elsevier, 2009, Vols. Computers and Chemical Engineering, vol. 33. DOI:10.1016/j.compchemeng.2009.01.001.

80. *One-pot synthesis of ethylbenzene/1-phenylethanol and g-butyrolactone from simultaneous acetophenone hydrogenation and 1,4-butanediol dehydrogenation over copper based catalysts: effects of the support.* **H. P. R. Kannapu, Yong-Woong Suh, A. Narani.** Online Journal : Royal Society Of Chemistry, 2017, Vols. RSC Adv. 2017, vol. 7. DOI: 10.1039/c7ra05558g.

81. **R. Turton, R.C. Bailie, W.B. Whiting, J.P. Shaelwitz.** *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes*. Boston, Estados Unidos : Pearson Education, Inc., 2009. ISBN: 978-0-13-512966-1.

82. **M. S. Peters, K. D. Timmerhaus, R. E. West.** *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. New York : McGraw-Hill Higher Education, 2003. ISBN 0-07-119872-5.

83. **ZAUBA.** Detailed Export Data of Gamma Butyrolactone. [En línea] 2018. [Citado el: 11 de Enero de 2019.] <https://www.zauba.com/export-gamma-butyrolactone-hs-code.html>.

84. **ICIS Chemical Business.** Chemical profile: Europe Butanediol. [En línea] 2017. [Citado el: 3 de Enero de 2019.] <https://www.icis.com/subscriber/icb/chemicalprofile?commodityId=72782®ionId=10345>.

85. —. Chemical Profile: Europe Maleic Anhydride. [En línea] 18 de Agosto de 2016. [Citado el: 24 de Noviembre de 2018.] <https://www.icis.com/explore/resources/news/2016/08/18/10027025/chemical-profile-europe-maleic-anhydride>.

86. **Sinnott, R.K.** *Chemical Engineering Design*. Oxford : Elsevier, 2005. ISBN 0-7506-6538-6.

87. **GreenChem.** BASF BDO, THF, NMP & GBL Set to Increase April 1. [En línea] 1 de Marzo de 2017. [Citado el: 19 de Noviembre de 2018.] <https://greenchemindustries.com/basf-bdo-thf-nmp-gbl-04-17/>.

88. **Smith, R.** *Chemical Process Design and Integration*. Manchester : John Wiley & Sons, Ltd, 2005. ISBN 0-471-48681-7.

89. **INSHT**. NTP 302: Reactividad e inestabilidad química: análisis termodinámico preliminar. [En línea] [Citado el: 11 de Enero de 2019.] http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_302.pdf.
90. **J. M. Storch de Gracia, T. García Martín**. *Seguridad industrial en plantas químicas y energéticas: Fundamentos, evaluación de riesgos y diseño*. Madrid : Diaz de Santos, 2008. ISBN 978-84-7978-864-3.
91. **Wikipedia**. NFPA 704. [En línea] 2019. [Citado el: 13 de Enero de 2019.] https://es.wikipedia.org/wiki/NFPA_704.
92. **CAMEO Chemicals**. Database of Hazardous Materials. [En línea] 2019. [Citado el: 12 de Enero de 2019.] <https://cameochemicals.noaa.gov/>.
93. **AIChE**. Chemical Reactivity Worksheet 4.0. [En línea] 2019. [Citado el: 12 de Enero de 2019.] <https://www.aiche.org/ccps/resources/chemical-reactivity-worksheet-40>.
94. **The Dow Chemical Company**. *DOW's Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide*. New York : American Institute of Chemical Engineers, 2005. ISBN 0-8169-0623-8.
95. **Global Asset Protection Services LLC**. GAPS Guidelines. [En línea] 2019. [Citado el: 13 de Enero de 2019.] <https://axaxl.com/insurance/insurance-coverage/property-risk-engineering/gaps-guidelines>.

ANEXO I.

Balances de materia y energía

ÍNDICE

1. Balances de materia.....	1
1.1. Balance de materia global	1
1.2. Balance de materia a los equipos principales	1
1.2.1. Tanque de mezcla V-101	2
1.2.2. Reactor R-201	2
1.2.3. Condensador E-301	2
1.2.4. Columna de destilación T-301	3
2. Balances de energía	4
2.1. Evaporador E-101	4
2.2. Evaporador E-102	6
2.3. Compresor K-101	7
2.4. Compresor K-102	12
2.5. Tanque de mezcla V-101	13
2.6. Reactor R-201	15
2.7. Condensador E-301	17
2.8. Columna de destilación T-301	19
2.9. Compresor K-401	22
2.10. Intercambiador de calor E-401	23
3. Referencias	24

1. Balances de materia

1.1. Balance de materia global

El balance de materia global comprende las entradas y salidas del sistema en su totalidad, sin distinción entre partes. Se aplica la ecuación de balance de materia general:

$$\text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Generación} = \text{Acumulación} \quad (1)$$

Asumiendo que el término acumulación en un proceso en estado estacionario no es aplicable, a excepción de los períodos de puesta en marcha, la ecuación 1 se puede simplificar y ajustar como sigue:

$$\text{Entrada} + \text{Generación} = \text{Salida} \quad (2)$$

Para la planta de este proyecto, con una producción anual en continuo de 15.000 toneladas de GBL al 99.7% en masa, y un periodo operativo estimado de 330 días al año y 24 horas al día, se obtiene:

Tabla 1. Balance global de materia de la planta de producción

Componente	ENTRADA		SALIDA	
	kmol/h	kg/h	kmol/h	kg/h
BDO	13,20	1189,59	0,00	0,00
MA	8,80	862,93	0,00	0,00
H ₂	0,00	0,00	0,00	0,00
GBL	0,00	0,00	22,00	1893,94
H ₂ O	0,00	0,00	8,80	158,58
BALANCE		2052,52		2052,52

1.2. Balance de materia a los equipos principales

La ecuación 2 puede aplicarse a cada equipo de la planta para garantizar que se cumpla el cierre del balance en cada uno, señalado al final de las tablas.

Los equipos en los que se realiza el balance de materia son aquellos en los que ocurre una reacción química, una mezcla o bien un proceso de separación, quedando exentos los compresores, las bombas y las válvulas.

Además, no se tienen en cuenta las utilidades de la planta, únicamente los reactivos y productos principales, que se nombran por sus siglas por simplicidad.

1.2.1. Tanque de mezcla V-101

En la tabla 2 se presentan los resultados del balance de materia al tanque de mezcla.

Tabla 2. Balance de materia al tanque de mezcla V-101

CORRIENTE	3	6	16	7
Flujo másico (kg/h)				
BDO	1189,59	0	0	1189,59
MA	0	862,93	0	862,93
H ₂	0	0	2653,20	2653,20
GBL	0	0	3,79	3,79
H ₂ O	0	0	6,60	6,60
TOTAL	1189,59	862,93	2663,59	4716,11
BALANCE		4716,11		4716,11

1.2.2. Reactor R-201

En el reactor, el término generación se asocia a la reacción química. Para una conversión del 100%, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3:

Tabla 3. Balance de materia al reactor R-201

CORRIENTE	7	8
Flujo másico (kg/h)		
BDO	1189,59	0
MA	862,93	0
H ₂	2653,20	2653,20
GBL	3,79	1897,73
H ₂ O	6,60	165,18
BALANCE	4716,11	4716,11

1.2.3. Condensador E-301

Tabla 4. Balance de materia al condensador E-301

CORRIENTE	8	9	14
Flujo másico (kg/h)			
BDO	0	0	0
MA	0	0	0
H ₂	2653,20	0	2653,20
GBL	1897,73	1893,94	3,79
H ₂ O	165,18	158,58	6,60
TOTAL	4716,11	2052,52	2663,59
BALANCE	4716,11	4716,11	

1.2.4. Columna de destilación T-301

En la salida por colas de la columna de destilación (corriente 13), el líquido obtenido se compone de un 99,7% en masa de GBL, como se puede comprobar en la tabla 5, cumpliendo las especificaciones de partida de la planta de producción.

Tabla 5. Balance de materia a la columna de destilación T-301

CORRIENTE	11	12	13
Flujo másico (kg/h)			
BDO	0	0	0
MA	0	0	0
H ₂	0	0	0
GBL	1893,94	5,68	1888,26
H ₂ O	158,58	152,89	5,68
TOTAL	2052,52	158,58	1893,94
BALANCE	2052,52	2052,52	

2. Balances de energía

Según el primer principio de la termodinámica, un sistema cerrado y bien definido puede intercambiar energía con los alrededores en forma de calor o de trabajo, acumulando energía conocida como energía interna.

Un balance de energía conlleva aplicar la ecuación de conservación de energía involucrada en un sistema, correspondiendo en este caso a un equipo de la planta, analizando los cambios físicos y químicos de los componentes desde su entrada hasta su salida.

Los equipos en los que se realizan los balances de energía son aquellos que impliquen un cambio en las propiedades termodinámicas de los compuestos químicos y en los que se requiera, por tanto, obtener energía de los alrededores o bien retirarla del sistema.

2.1. Evaporador E-101

En el evaporador E-101 tiene lugar el calentamiento y posterior evaporación de la corriente 1, compuesta por el reactivo BDO líquido procedente del tanque de almacenamiento de BDO. El requerimiento energético viene proporcionado por la suma del calor sensible necesario para calentar desde la temperatura inicial hasta la temperatura de ebullición, y el calor latente de vaporización.

Expresado en términos matemáticos, se define el calor sensible según la expresión siguiente:

$$\dot{Q}_s = \dot{m} \int_{T_0}^{T_{eb}} C_p dT \quad (3)$$

Siendo:

\dot{Q}_s = Flujo de calor sensible (kJ/s o kW)

\dot{m} = Flujo másico de agua de la corriente a calentar (kg/s)

T_{eb} = Temperatura de ebullición de la corriente (°C)

T_0 = Temperatura inicial de la corriente (°C)

C_p = Capacidad calorífica por unidad de masa (kJ/kg·°C)

La capacidad calorífica varía dependiendo de la temperatura de la corriente. Si la capacidad calorífica de la sustancia puede considerarse constante, generalmente cuando la corriente es líquida, la ecuación 3 puede simplificarse:

$$\dot{Q}_s = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{eb} - T_0) \quad (4)$$

Nótese que se emplean términos másicos, siendo posible realizar el mismo cálculo en términos molares empleando para ello el peso molecular medio de la corriente. Por otra parte, el calor latente no implica cambio de temperatura, y se define como:

$$\dot{Q}_l = \dot{m} \cdot \Delta H_{vap} \quad (5)$$

De donde:

\dot{Q}_l = Calor latente de vaporización (kJ/s)

ΔH_{vap} = Entalpía másica de vaporización de la corriente (kJ/kg)

Sumando ambos requerimientos caloríficos, se obtiene el calor total \dot{Q}_t en kJ/s:

$$\dot{Q}_t = \dot{Q}_s + \dot{Q}_l = \dot{m} \cdot [C_p \cdot (T_{eb} - T_0) + \Delta H_{vap}] \quad (6)$$

A este valor es recomendable añadirle entre un 3 – 5% más para compensar las pérdidas caloríficas.

Como fluido calefactor se emplea vapor de agua saturado a 40 barg, conocido como *hps* por sus siglas en inglés, cuya temperatura es cercana a los 252,5 °C y que libera la energía al condensar por los tubos. Para que se cumpla el balance de energía, todo el calor suministrado por el vapor de agua debe equipararse al calor necesario para lograr la evaporación de la corriente:

$$\dot{Q}_{hps} = \dot{m}_{hps} \Delta H_{vap,hps} = \dot{Q}_t \quad (7)$$

Para la corriente 1, los datos de partida de BDO se extraen de fuentes bibliográficas y el simulador de procesos Aspen Hysys, y se especifican en la tabla 6:

Tabla 6. Datos de la corriente 1 de entrada al Evaporador E-101

Propiedad	Valor
T_0 (°C)	25,0
P (bar)	1,0
\dot{m} (kg/s)	0,33
ΔH_{vap} (kJ/kg)	809,47
T_{eb} (°C)	228,0
C_p (kJ/kg · °C)	2,75

En la tabla 7 se muestra el resultado del cálculo del calor total empleando las ecuaciones 4, 5 y 6, y añadiéndole un 5% por pérdidas. Además, se calcula el flujo másico de fluido calefactor y se comprueba que el balance se cierra al cumplirse la ecuación 7.

Tabla 7. Cálculo del requerimiento calorífico del Evaporador E-101

Variable	Valor
\dot{Q}_s , calor sensible (kW)	203,42
\dot{Q}_l , calor latente (kW)	267,48
\dot{Q}_t , calor total (kW)	470,90
$\dot{Q}_t + 5\%$ pérd. (kW)	494,45
\dot{m}_{hps} (kg/s)	0,291
$\Delta H_{vap,hps}$ (kJ/kg)	1700
\dot{Q}_{hps} (kW)	494,45

2.2. Evaporador E-102

En el evaporador E-102 tiene lugar el calentamiento y evaporación de la corriente 4 correspondiente al reactivo líquido MA proveniente del tanque de almacenamiento de MA. El requerimiento energético y su cálculo es análogo al explicado en el apartado 2.1, y los resultados obtenidos se recogen en las tablas 8 y 9.

Como fluido calefactor se emplea vapor de agua saturado a 26 barg, conocido como *mps* por sus siglas en inglés, con una temperatura aproximada de 230 °C.

Tabla 8. Datos de la corriente 2 de entrada al Evaporador E-102

Propiedad	Valor
T_0 (°C)	70,0
P (bar)	1,0
\dot{m} (kg/s)	0,24
ΔH_{vap} (kJ/kg)	558,84
T_{eb} (°C)	202,0
C_p (kJ/kg · °C)	2,02

Tabla 9. Cálculo del requerimiento calorífico del Evaporador E-102

Variable	Valor
\dot{Q}_s , calor sensible (kW)	63,85
\dot{Q}_l , calor latente (kW)	133,96
\dot{Q}_t , calor total (kW)	197,81
$\dot{Q}_t + 5\% \text{ pérd.}$ (kW)	207,70
\dot{m}_{mps} (kg/s)	0,115
$\Delta H_{\text{vap,mps}}$ (kJ/kg)	1812
\dot{Q}_{mps}	207,70

2.3. Compresor K-101

La presión a la entrada del reactor está especificada a 1,5 bar, por lo que es necesario comprimir la corriente 2, correspondiente al vapor de salida del evaporador E-101, desde 1 bar hasta los 1,5 bar requeridos. Se emplea para ello el compresor K-101.

Generalmente, el requerimiento de trabajo necesario para aumentar la presión de un gas suele ser despreciable frente a otros requerimientos energéticos asociados al proceso y, sin embargo, suele ser interesante su cálculo.

La cantidad de trabajo en un proceso de compresión se define como:

$$-\dot{W}_c = \int_1^2 P dV \quad (8)$$

Siendo 1 y 2 los estados inicial y final respectivamente, y los parámetros:

\dot{W}_c = Cantidad de trabajo necesario (kJ/kg)

P = Presión del sistema (kPa)

V = Volumen específico del gas (m³/kg)

En compresores industriales, el proceso de compresión se caracteriza por ser politrópico, es decir, la relación entre la presión y el volumen obedece a la expresión:

$$PV^n = C \quad (9)$$

Siendo n y C constantes características del tipo de compresor empleado y la operación que se desee realizar. En la planta se utilizan compresores centrífugos, pues se debe elevar moderadamente la presión de corrientes que no llegan al caudal mínimo recomendado para el empleo de soplantes.

A continuación, se detalla el método desarrollado por Schultz en 1962 para el cálculo del trabajo politrópico requerido en un proceso, que viene dado por la expresión general:

$$-\dot{W}_c = P_1 V_1 \frac{n}{n-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] = ZRT_1 \frac{n}{n-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (10)$$

De donde:

P_1 = Presión en el estado inicial 1 (kPa)

P_2 = Presión en el estado final 2 (kPa)

V_1 = Volumen el estado inicial 1 (m³)

R = Constante característica de los gases ideales (=8,31 kJ/kmol·K)

T_1 = Temperatura en el estado inicial 1 (K)

Z = Factor de compresibilidad (=1 para gases ideales)

Por considerarse una compresión adiabática politrópica, se produce un aumento de temperatura definido por la ecuación:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^m \quad (11)$$

Siendo T_2 la temperatura del gas en el punto final 2 en K y la constante m se define para compresión como función de la eficiencia politrópica E_p obtenida de la figura 4.

$$m = \frac{ZR}{C_p M} \left(\frac{1}{E_p} + X \right) \quad (12)$$

Para el desarrollo del método de Schulz, es necesario definir dos funciones generalizadas de compresibilidad, X e Y :

$$X = \frac{T}{V} \left(\frac{\delta V}{\delta T} \right)_p - 1 \quad (13)$$

$$Y = -\frac{P}{V} \left(\frac{\delta V}{\delta T} \right)_T \quad (14)$$

Para obtener los valores de X , Y y Z de un gas se emplean las figuras 1, 2 y 3 extraídas de la bibliografía. En su uso, se deben primero calcular la temperatura y la presión reducidas del gas en función de las propiedades críticas de temperatura y presión, T_c (K) y P_c (bar) respectivamente:

$$T_r = \frac{T}{T_c} \quad (15)$$

$$P_r = \frac{P}{P_c} \quad (16)$$

$$T_{r,media} = \frac{(T_1 + T_2)}{2T_c} \quad (17)$$

$$P_{r,media} = \frac{(P_1 + P_2)}{2P_c} \quad (18)$$

El valor de n de la ecuación 10 se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$n = \frac{1}{Y - m(1 + X)} \quad (19)$$

Y finalmente, la potencia que debe suministrar el compresor se corresponde con la ecuación siguiente:

$$P_{real} = \frac{P_{teo}}{E_p} = \frac{\dot{W}_c \cdot \dot{m}}{E_p} = \dot{W}_{real} \cdot \dot{m} \quad (20)$$

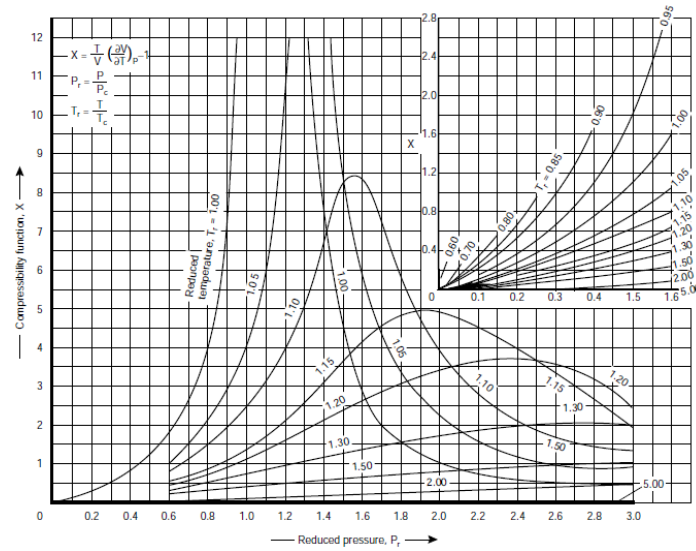


Figura 1. Determinación del factor generalizado de compresibilidad X (Sinnott, 2005)

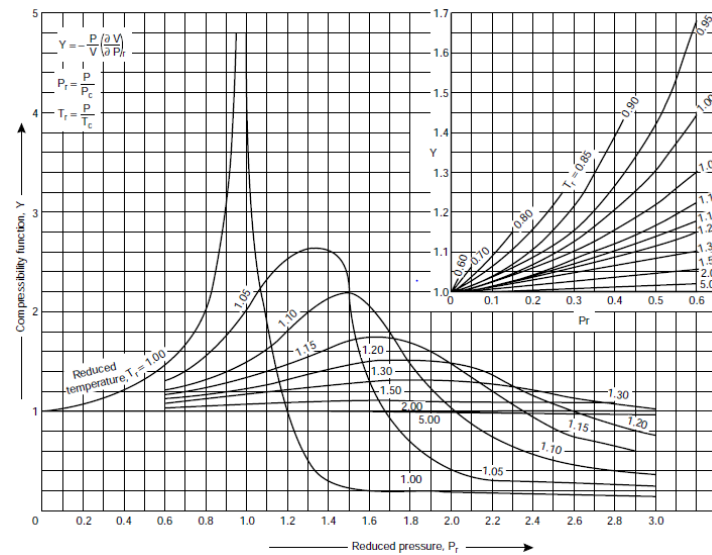


Figura 2. Determinación del factor generalizado de compresibilidad Y (Sinnott, 2005)

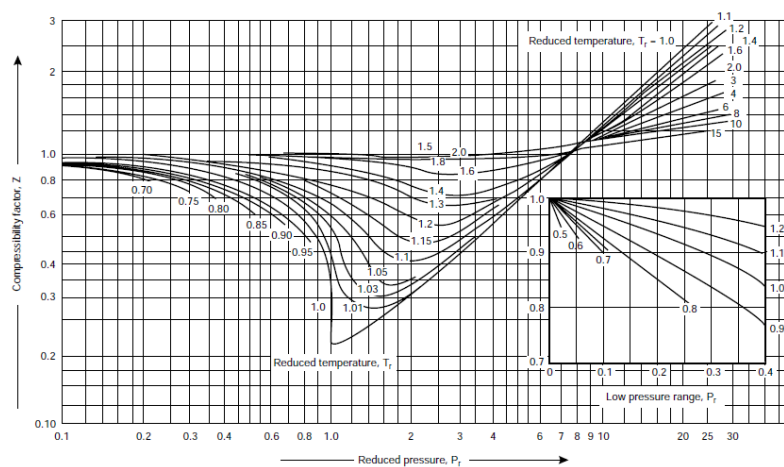


Figura 3. Determinación del factor generalizado de compresibilidad Z (Sinnott, 2005)

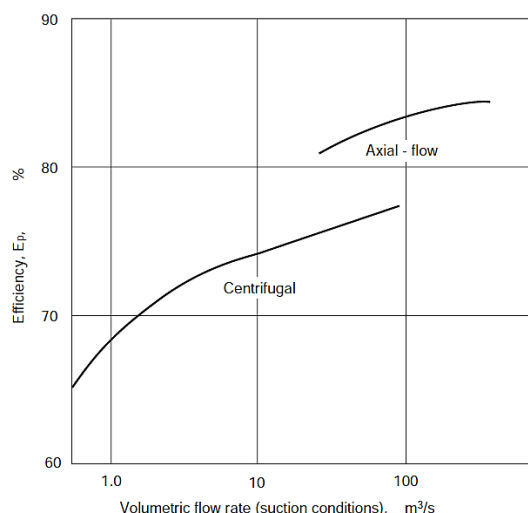


Figura 4. Determinación de la eficacia E_p en compresores centrífugos y de flujo axial (Sinnott, 2005)

En la tabla 10 se muestran las propiedades de la corriente 2 de entrada al compresor, y en la tabla 11 los cálculos pertinentes para la determinación de la potencia real del compresor. Para el cálculo de las capacidades caloríficas de los gases se emplean las ecuaciones 21 y 22, que consideran la dependencia de C_p con la temperatura:

$$H_{i,T}^v - H_{i,T_{ref}}^v = \bar{C}_{p_{gas}}(T - T_{ref}) \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \bar{C}_{p_{gas}} &= \frac{H_{i,T}^v - H_{i,T_{ref}}^v}{(T - T_{ref})} \\ &= \frac{A + B(T - T_{ref}) + C(T - T_{ref})^2 + D(T - T_{ref})^3 + E(T - T_{ref})^4 + F(T - T_{ref})^5}{T - T_{ref}} \end{aligned} \quad (22)$$

Siendo:

$H_{i,T}^v$ = Entalpía del vapor del compuesto i a una temperatura T (kJ/kg)

$H_{i,T_{ref}}^v$ = Entalpía del vapor del compuesto i a una temperatura de referencia T_{ref} (kJ/kg)

A, B, C, D, E y F: coeficientes específicos de cada compuesto i . Para el BDO, se muestran en la tabla 14, extraídos del simulador Aspen Hysys.

Tabla 10. Propiedades de la corriente 2 en la entrada al compresor K-101

Propiedad	Valor
T (°C)	228
P (bar)	1
C_p (kJ/kg · °C)	1,99
\dot{m} (kg/s)	0,33
P_c (bar)	48,7
T_c (°C)	393,4

Tabla 11. Cálculos para la obtención de la potencia del compresor K-101

Parámetro	Valor
P_2 (bar)	1,5
E_p (%)	66%
T_2 (°C)	242,58
$T_{r,media}$	1,525
$P_{r,media}$	0,025
X	0
Y	1
Z	1
m	0,07
n	1,076
\dot{W}_c (kJ/kg)	19,01
\dot{W}_{real} (kJ/kg)	28,81
P_{real} (kW)	9,52

2.4. Compresor K-102

El compresor K-102 se utiliza para aumentar la presión de la corriente 5, consistente en vapor de MA, desde 1 bar hasta 1,5 bar. El desarrollo teórico y matemático se explica en el apartado 2.3 de este mismo anexo. En las tablas 12 y 13 se presentan las propiedades de la corriente 5 y los cálculos relativos a la determinación de la potencia del compresor K-102, respectivamente.

Tabla 12. Propiedades de la corriente 5 en la entrada al compresor K-104

Propiedad	Valor
T (°C)	202
P (bar)	1
C _p (kJ/kg · °C)	1,526
m (kg/s)	0,24
P _c (bar)	72,8
T _c (°C)	447,9

Tabla 13. Cálculos para la obtención de la potencia del compresor K-104

Parámetro	Valor
P ₂ (bar)	1,5
E _p (%)	65%
T ₂ (°C)	218,8
T _{r,media}	1,34
P _{r,media}	0,017
X	0
Y	1
Z	1
m	0,08
n	1,093
W _c (kJ/kg)	16,62
W _{real} (kJ/kg)	25,57
P _{real} (kW)	6,13

2.5. Tanque de mezcla V-101

En el tanque de mezcla V-101 se combinan las corrientes 3 y 6 procedentes de los compresores K-101 y K-102 con la corriente 16 de recirculación de hidrógeno.

Al producirse la mezcla, las entalpías de las corrientes de entrada se equiparán a las entalpías de la corriente de salida:

$$\left(\sum_i^j H_i \right)_{entrada} = \left(\sum_i^m H_i \right)_{salida} \quad (23)$$

Siendo:

H_i = Entalpía de la corriente i (kJ/kg)

j = Número total de corrientes de entrada

m = Número total de corrientes de salida

Considerando comportamiento adiabático, es posible calcular la energía intercambiada en una mezcla y la temperatura final de dicha mezcla, $T_{f,m}$. Para ello, se relaciona el cambio de entalpía de una corriente i , ΔH_i (kW), con el calor sensible producido por la mezcla de gases a diferentes temperaturas:

$$\Delta H_i = \dot{m}_i C_{p,i} (T_{f,m} - T_{o,i}) \quad (24)$$

Aplicando la ecuación 24 a todas las corrientes, se obtiene:

$$\left(\sum_i^j \Delta H_i \right)_{entrada} = \left(\sum_i^j \dot{m}_i C_{p,i} (T_{f,m} - T_{o,i}) \right)_{entrada} = 0 \quad (25)$$

Al entrar gases a diferentes temperaturas, la temperatura de la mezcla final $T_{f,m}$ tendrá un valor intermedio entre la temperatura más alta y la más baja, y existirá siempre una transmisión de energía entre las distintas corrientes.

Ajustando la ecuación 25 y reordenando en base a las corrientes de entrada 3, 6 y 16, y salida 7 del tanque de mezcla, se obtiene la ecuación de balance del tanque de mezcla:

$$\dot{m}_3 C_{p,3} (T_{f,7} - T_{o,3}) + \dot{m}_6 C_{p,6} (T_{f,7} - T_{o,6}) + \dot{m}_{16} C_{p,16} (T_{f,7} - T_{o,16}) = 0 \quad (26)$$

Las propiedades de entrada de cada corriente al tanque de mezcla se recogen en la tabla 15, extraídas principalmente de la herramienta informática Aspen Hysys, así como las propiedades de la corriente de mezcla de salida.

La capacidad calorífica de la mezcla de gases a una temperatura T es dependiente de las capacidades caloríficas de cada compuesto individual a dicha temperatura T , que se calculan a partir de la ecuación 22. Los coeficientes caloríficos se obtienen de la herramienta Hysys y se detallan en la tabla 14.

$$C_{p_{mezcla}} = \frac{\sum_i^j \dot{m}_i \overline{C_{p,i}}}{\sum_i^j \dot{m}_i} \quad (27)$$

Tabla 14. Coeficientes caloríficos para distintos compuestos

Coeficiente	BDO	MA	H ₂	GBL	H ₂ O
A	0	0	-49,70	0	-5,73
B	$5,40 \cdot 10^{-2}$	-0,89	13,80	$8,9 \cdot 10^{-2}$	1,91
C	$2,66 \cdot 10^{-3}$	$5,97 \cdot 10^{-3}$	$3,00 \cdot 10^{-4}$	$1,78 \cdot 10^{-3}$	$-3,96 \cdot 10^{-4}$
D	$-1,10 \cdot 10^{-6}$	$-7,61 \cdot 10^{-6}$	$3,46 \cdot 10^{-7}$	$-3,80 \cdot 10^{-6}$	$8,76 \cdot 10^{-7}$
E	$2,10 \cdot 10^{-10}$	$5,33 \cdot 10^{-9}$	$-9,71 \cdot 10^{-11}$	$-9,86 \cdot 10^{-10}$	$-4,95 \cdot 10^{-10}$
F	0	$-1,52 \cdot 10^{-12}$	$7,73 \cdot 10^{-15}$	0	$1,04 \cdot 10^{-13}$

Tabla 15. Propiedades de las corrientes del tanque de mezcla V-101

CORRIENTE	3	6	16	7
T (°C)	242,59	218,80	246,08	245,00
P (bar)	1,50	1,50	1,50	1,50
C _p (kJ/kg · K)	2,03	1,55	14,33	8,905
ṁ (kg/s)	0,33	0,24	0,74	1,31

Tabla 16. Balance de energía al tanque V-101

Propiedad	Valor
T _{f,7} (°C)	245,00
ΔH ₁₆ (kW)	-11,348
ΔH ₃ (kW)	1,619
ΔH ₆ (kW)	9,728
$\sum \Delta H_i$	0
Error (%)	$1,32 \cdot 10^{-4}$

2.6. Reactor R-201

El reactor R-201 es la unidad de la planta donde tiene lugar la reacción química. Al ser una reacción global exotérmica y realizarse la operación en adiabático, toda la energía que se libere elevará la temperatura de los productos.

El mecanismo de las dos reacciones que tienen lugar, su cinética y su acoplamiento mediante el catalizador se discuten en el Anexo II. Cálculos justificativos, apartado 4.1.

La entalpía de la reacción global a 245 °C, $\Delta H_R(245\text{ °C})$, se obtiene de la bibliografía, donde se estima que tiene un valor de -119.6 kJ/(kmol de MA). El flujo de calor liberado se obtiene multiplicando la entalpía de reacción global por el flujo molar de entrada de MA al reactor:

$$\dot{Q}_R = \dot{n}_{MA} \Delta H_R \quad (28)$$

Igualando el calor de reacción al calor sensible, se obtiene la ecuación de balance del reactor:

$$\dot{Q}_R = \dot{n}_{MA} \Delta H_R = \dot{m}_p C_{p,p} \Delta T_p \quad (29)$$

Donde el subíndice p indica que la propiedad es de los productos de la corriente de salida. Igual que en el balance energético del resto de equipos, la temperatura final de la corriente de salida del equipo es el principal factor a determinar.

Realizando un proceso iterativo, se comienza estimando una diferencia de temperatura, se calculan las capacidades caloríficas de los productos a la temperatura de salida del reactor y finalmente se comprueba si el balance se cumple.

Como estimación inicial, se toma $\Delta T_{p,0} = 25\text{ °C}$. En la tabla 17 se resumen los datos de entrada del reactor y salida del reactor para dicha diferencia de temperatura.

Tabla 17. Propiedades de las corrientes de entrada y salida al reactor R-201 (1ª iteración)

Propiedad	Entrada	Salida
T (°C)	245,0	270,0
C _p (kJ/kg · K)	8,905	8,881
\dot{m} (kg/s)		1,31
\dot{n}_{MA}		8,80
\dot{Q}_R (kW)	292,36	

Se despeja ΔT_p de la ecuación 29:

$$\Delta T_{p,1} = \frac{\dot{Q}_R}{\dot{m}_p C_{p,p}} \quad (30)$$

La nueva ΔT_p y el error cometido se muestran en la tabla 18. El proceso se repite hasta que el error relativo se considere suficientemente pequeño (< 0.5%), que se cumple en la segunda iteración. Los resultados de esta iteración se presentan en las tablas 19 y 20.

Tabla 18. Resultados tras la 1ª iteración en el reactor R-201

Parámetro	Valor
$\Delta T_{p,1}$ (°C)	25,216
Error relativo (%)	0,9%

Tabla 19. Propiedades de las corrientes de entrada y salida al reactor R-201 (2ª iteración)

Propiedad	Entrada	Salida
T (°C)	245,0	270,2
C _p (kJ/kg · K)	8,905	8,876
\dot{m} (kg/s)	1,31	1,31

Tabla 20. Resultados tras la 2ª iteración en el reactor R-201

Parámetro	Valor
$\Delta T_{p,2}$ (°C)	25,22
Error relativo (%)	0,016%

2.7. Condensador E-301

La corriente 8 de salida del reactor se enfría y condensa parcialmente. La mezcla de gases está compuesta por un hidrocarburo, GBL, vapor de agua y un gas no condensable, hidrógeno.

Idealmente, todo el contenido en GBL y vapor de agua condensaría para obtener una mezcla con dos fases que facilite la separación de las mismas por gravedad. Sin embargo, el cálculo del requerimiento energético es más complicado debido al efecto que provoca el gas no condensable en elevada cantidad (>70% molar).

Por este motivo, se estima que condensa un 99,8% molar de GBL y un 96% molar de agua (más volátil), con una salida del gas a 25 °C. Como aproximación, el calor teórico que se debe intercambiar entre el gas y el fluido refrigerante, agua refrigerada a 5 °C, se calcula desglosando la mezcla en sus tres compuestos:

$$\dot{Q}_t = \dot{Q}_{s,H_2} + \dot{Q}_{s,GBL}^v + \dot{Q}_{l,GBL} + \dot{Q}_{s,H_2O}^v + \dot{Q}_{l,H_2O} \quad (31)$$

Siendo:

\dot{Q}_{s,H_2} = Calor sensible de enfriamiento del hidrógeno desde T hasta 25°C (kW)

$\dot{Q}_{s,GBL}^v$ = Calor sensible de enfriamiento de GBL vapor desde T hasta T_{eb} (kW)

$\dot{Q}_{l,GBL}$ = Calor latente de condensación del GBL (kW)

\dot{Q}_{s,H_2O}^v = Calor sensible de enfriamiento de vapor de agua desde T hasta T_{eb} (kW)

\dot{Q}_{l,H_2O} = Calor latente de condensación de agua (kW)

Desarrollando cada término calorífico en función de la temperatura, se obtiene la ecuación teórica de aporte energético:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_t = & \dot{m}_{H_2} C_{p,H_2} (25 - T) + \dot{m}_{GBL} C_{p,GBL}^v (T_{eb} - T) + \dot{n}_{GBL} \Delta H_{GBL} + \\ & + \dot{m}_{H_2O} C_{p,H_2O}^v (T_{eb} - T) + \dot{n}_{H_2O} \Delta H_{H_2O} \end{aligned} \quad (32)$$

Para calcular las temperaturas de ebullición de los compuestos condensables a 1,42 bar (corriente 8) conocidas las temperaturas de ebullición normales, se emplea la ecuación integrada de Clausius-Clapeyron:

$$\ln \frac{P_2}{P_1} = \frac{\Delta H_{vap}}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (33)$$

En donde los subíndices 1 y 2 indican el estado inicial y final respectivamente, y las temperaturas de ebullición T_1 y T_2 se expresan en K. Las temperaturas de ebullición normales se extraen de la bibliografía.

En la tabla 21 se detallan los puntos de fusión de los dos compuestos condensables a 1,42 bar. Para el cálculo de la capacidad calorífica de los gases se emplean las ecuaciones de los apartados

2.3 y 2.5 de este Anexo. Los resultados obtenidos del requerimiento teórico de calor se detallan en la tabla 22.

Tabla 21. Cálculo de las temperaturas de ebullición de los compuestos condensables

Propiedad	GBL	H ₂ O
P ₁ (bar)	1	1
T ₁ (°C)	203,8	100
P ₂ (bar)	1,42	1,42
ΔH _{vap} (kJ/kmol)	49,01·10 ³	42,44·10 ³
T ₂ (°C)	218,1	109,9

Tabla 22. Resultados del calor que se necesita retirar en el condensador E-301

Parámetro	Valor
\dot{Q}_{s,H_2} (kW)	-2562,37
$\dot{Q}_{s,GBL}^v$ (kW)	-44,69
$\dot{Q}_{l,GBL}$ (kW)	-300,11
\dot{Q}_{s,H_2O}^v (kW)	-14,27
\dot{Q}_{l,H_2O} (kW)	-108,07
\dot{Q}_{teo} (kW)	-3251,63

Realizando un simulacro en Aspen Plus, con una retirada de 3.400 kW en el condensador se produce el enfriamiento del gas hasta los 25 °C obteniéndose una condensación del 98,6% de γ -butirolactona y 95,1% de agua. La diferencia respecto a la suposición estimada inicialmente se considera suficientemente válida.

El flujo másico de agua de refrigeración necesario se expone en la tabla siguiente.

Tabla 23. Propiedades del agua refrigerada (utilidad)

Parámetro	Valor
C _p (kJ/kg · K)	4,13
T entrada (°C)	5
T salida (°C)	10
\dot{m} (kg/s)	157,9

2.8. Columna de destilación T-301

En la columna de destilación binaria T-301 tiene lugar la separación de GBL y agua aprovechando la diferencia en volatilidad de ambos compuestos. El intercambio de calor se produce en el condensador total identificado como E-302 y en el evaporador parcial (calderín) E-303. Se estudia el requerimiento calorífico de ambos por separado.

Para el condensador E-302, el aporte energético se calcula empleando la ecuación 34 que relaciona las entalpías de entrada al equipo y las de salida:

$$VH_V + \dot{Q}_c = Lh_L + Dh_D \quad (34)$$

Donde:

\dot{Q}_c = Requerimiento calorífico del condensador (kW)

V = Flujo molar de vapor que entra al condensador (kmol/s)

H_V = Entalpía molar de la corriente de vapor que entra al condensador (kJ/kmol)

L = Flujo molar de la corriente líquida de reflujo (kmol/s)

h_L = Entalpía molar de la corriente líquida de reflujo (kJ/kmol)

D = Flujo molar de la corriente de destilado (kmol/s)

H_D = Entalpía molar de la corriente de destilado (kJ/kmol)

Para calcular las entalpías de cada corriente, se emplean las ecuaciones 35 y 36. Para una corriente líquida (letra minúscula):

$$h_l = \sum_i^j x_i C_{p,i} (T_l - T_{ref}) \quad (35)$$

Siendo:

j = Número total de compuestos i

x_i = Fracción molar de compuesto i en el líquido (mol i /moles totales)

T_l = Temperatura del líquido (°C)

T_{ref} = Temperatura de referencia para los cálculos, tomada como 0 °C

Mientras que, para una corriente en fase vapor (letra mayúscula):

$$H_v = \sum_i^j y_i [\Delta H_{vap,i} + C_{p,i} (T_l - T_{ref})] \quad (36)$$

En donde y_i representa la fracción molar del compuesto i en el vapor (mol i /moles totales).

Los datos de las corrientes L , V y D se representan en la tabla 24 correspondientes al diseño de la columna en el apartado 7.2 del Anexo II, cálculos justificativos.

Tabla 24. Propiedades y cálculo de las entalpías de cada corriente del condensador E-302

Propiedad	L	V	D
T (°C)	100,2	100,2	100,2
P (bar)	1	1	1
\dot{n} (kmol/s)	$1,14 \cdot 10^{-3}$	$3,52 \cdot 10^{-3}$	$2,37 \cdot 10^{-3}$
x_{GBL}	0,0077	-	0,0077
y_{GBL}	-	0,0077	-
x_{H_2O}	0,9923	-	0,9923
y_{H_2O}	-	0,9923	-
$C_{p,GBL}$ (kJ/kmol · K)	168,5	108,6	168,5
C_{p,H_2O} (kJ/kmol · K)	76,38	38,27	76,38
$\Delta H_{vap,GBL}$ (kJ/kmol)	$49,01 \cdot 10^3$	$49,01 \cdot 10^3$	$49,01 \cdot 10^3$
$\Delta H_{vap,H_2O}$ (kJ/kmol)	$42,44 \cdot 10^3$	$42,44 \cdot 10^3$	$42,44 \cdot 10^3$
$T_{eb,GBL}$ (°C)	203,8	203,8	203,8
T_{eb,H_2O} (°C)	100	100	100
H (kJ/kmol)	7843,61	46458,54	7843,61

Tabla 25. Cálculo del requerimiento energético del condensador E-302

Parámetro	Valor
VH_V (kW)	163,50
Lh_L (kW)	8,974
Dh_D (kW)	18,63
\dot{Q}_c (kW)	-135,89

Para la caldera E-303, el aporte energético se calcula empleando la ecuación 37 que relaciona las entalpías de entrada a la caldera y las de salida:

$$L'h_{L'} + \dot{Q}_E = V'H_{V'} + BH_B \quad (37)$$

Donde:

\dot{Q}_E = Requerimiento calorífico de la caldera (kW)

L' = Flujo molar de líquido que entra a la caldera (kmol/s)

$h_{L'}$ = Entalpía molar de la corriente líquida que entra a la caldera (kJ/kmol)

V' = Flujo molar de la corriente en fase vapor de reflujo (kmol/s)

$H_{V'}$ = Entalpía molar de la corriente en fase vapor de reflujo (kJ/kmol)

B = Flujo molar de la corriente de colas (kmol/s)

H_B = Entalpía molar de la corriente de colas (kJ/kmol)

Al considerarse un evaporador parcial, para calcular la composición de cada compuesto a la entrada líquida y a la salida vapor, L' y V' respectivamente, se asume que la caldera actúa como una etapa más de equilibrio. Esto se explica más detalladamente en el Anexo II, cálculos

justificativos, apartado 7.2, donde se diseña la columna y se calculan todos los datos necesarios para el balance energético, resumidos en la tabla 26.

De esta manera, el cálculo del calor requerido es análogo al planteado para el balance del condensador E-302, y los resultados se muestran en la tabla 27.

Tabla 26. Propiedades y cálculo de las entalpías de cada corriente de la caldera E-303

Propiedad	L'	V'	B
T (°C)	198,9	198,9	198,9
P (bar)	1	1	1
\dot{n} (kmol/s)	$1,12 \cdot 10^{-2}$	$5,04 \cdot 10^{-3}$	$6,18 \cdot 10^{-3}$
x_{GBL}	0,9669	-	0,9858
y_{GBL}	-	0,9489	-
$x_{\text{H}_2\text{O}}$	0,0331	-	0,0142
$y_{\text{H}_2\text{O}}$	-	0,0511	-
$C_{p,\text{GBL}}$ (kJ/kmol · K)	190,9	108,6	108,6
$C_{p,\text{H}_2\text{O}}$ (kJ/kmol · K)	81,07	38,27	38,27
$\Delta H_{\text{vap,GBL}}$ (kJ/kmol)	$35,27 \cdot 10^3$	$49,01 \cdot 10^3$	$49,01 \cdot 10^3$
$\Delta H_{\text{vap,H}_2\text{O}}$ (kJ/kmol)	$34,12 \cdot 10^3$	$42,44 \cdot 10^3$	$42,44 \cdot 10^3$
$T_{\text{eb,GBL}}$ (°C)	203,8	203,8	203,8
$T_{\text{eb,H}_2\text{O}}$ (°C)	100	100	100
H (kJ/kmol)	37248,91	86343,15	37660,66

Tabla 27. Cálculo del requerimiento energético de la caldera E-303

Parámetro	Valor
$L'h_{L'}$ (kW)	417,18
$V'h_{V'}$ (kW)	435,17
BH_B (kW)	232,74
\dot{Q}_E (kW)	250,72

2.9. Compresor K-401

El compresor K-401 se utiliza para comprimir el gas de salida del condensador E-301 desde 1,39 bar (corriente 14) hasta 1,5 bar, que es la presión necesaria para realizar la mezcla en el tanque V-101. El método empleado es el mismo que en el explicado en el apartado 2.3, salvo que ahora, para la obtención del parámetro m , se realiza una simplificación de las ecuaciones 12 y 19, puesto que se consideran las propiedades de la corriente muy alejadas de las propiedades críticas:

$$m = \frac{\gamma - 1}{\gamma E_p} \quad (12a)$$

$$n = \frac{1}{1 - m} \quad (19a)$$

Siendo γ el coeficiente adiabático (para un gas ideal = 1,4)

Los resultados se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 28. Propiedades de la corriente de entrada al compresor K-401

Propiedad	Valor
T_1 (°C)	25
P (bar)	1,39
\dot{m} (kg/s)	0,736
P_c (bar)	13,16
T_c (°C)	-239,7

Tabla 29. Cálculos para la obtención de la potencia del compresor K-401

Parámetro	Valor
P_2 (bar)	1,5
E_p (%)	74%
T_2 (°C)	33,72
m	0,386
n	1,629
\dot{W}_c (kJ/kg)	93,90
\dot{W}_{real} (kJ/kg)	126,89
P_{real} (kW)	93,42

2.10. Intercambiador de calor E-401

La salida del compresor K-401 se dirige al intercambiador E-401. Lo que se desea es obtener una temperatura de salida del intercambiador que permita obtener la temperatura de mezcla de salida del tanque de mezcla V-101 y cerrar, de esta manera, el balance energético global.

Las ecuaciones de balance calorífico del intercambiador de calor son semejantes a las explicadas en el apartado 2.1 de este anexo. Todo el calor intercambiado por el elemento calefactor debe ser absorbido por la corriente 15, elevando su temperatura al no existir un cambio de fase de los componentes:

$$\dot{Q}_t = \dot{m}_m \overline{C_{p,m}} (T_s - T_e) \quad (38)$$

En la ecuación anterior, los parámetros son:

\dot{m}_m = Flujo másico de la corriente (kg/s)

$\overline{C_{p,m}}$ = Capacidad calorífica media de la corriente entre la temperatura de entrada T_e (K) y la de salida T_s (K) expresada en (kJ/kg·K). Su cálculo se realiza empleando la ecuación 22 con los parámetros de la tabla 14.

Como fluido calefactor se emplea un aceite comercial a 260 °C que enfría hasta los 245 °C, pues el caudal de gas a calentar es bastante elevado y la utilización de vapor de agua saturado no resulta suficiente. Las propiedades del aceite se extraen de su ficha técnica, facilitada por el fabricante.

En la tabla siguiente se muestra el cálculo del aporte calorífico requerido en el intercambiador E-401.

Tabla 30. Resultado del cálculo de calor del intercambiador E-401

Propiedad	Valor
T_e (°C)	33,72
T_s (°C)	246,08
$\overline{C_{p,m}}$ (kJ/kg · K)	14,6
\dot{m}_m (kg/s)	0,74
\dot{Q}_t (kW)	2293,67

Tabla 31. Propiedades del aceite térmico (utilidad)

Parámetro	Valor
C_p (kJ/kg · K)	2,72
T entrada (°C)	260
T salida (°C)	245
\dot{m} (kg/s)	56,3

3. Referencias

Haynes, W. M. 2016. *CRC Handbook of Chemistry and Physics, 96th Edition*. Pasadena, Estados Unidos : CRC Press/Taylor and Francis, 2016.

J.M. Smith, H.C. Van Ness, M. M. Abbott. 2007. *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química*. México D.F. : McGraw-Hill, 2007. ISBN: 978-970-10-6147-3.

Kern, D. Q. 1950. *Process Heat Transfer*. Singapur : McGraw-Hill, 1950. ISBN 0-07-085353-3.

MOL Magyarország. 2018. MOL Thermol 46. [En línea] 2018. [Citado el: 11 de Noviembre de 2018.] <https://mol.hu/en/about-mol/media-room/125-lubricants-autochemicals/industrial-oils/other-oils/3538-mol-thermol-46-heat-transfer-oil/>.

Sinnott, R.K. 2005. *Chemical Engineering Design*. Oxford : Elsevier, 2005. ISBN 0-7506-6538-6.

Smith, R. 2005. *Chemical Process Design and Integration*. Manchester : John Wiley & Sons, Ltd, 2005. ISBN 0-471-48681-7.

Ullmann, F. 2006. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim : Wiley-VCH, 2006. ISBN 3527313184.

ANEXO II

Cálculos justificativos

ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Evaporadores E-101 y E-102	1
2.1. Introducción	1
2.2. Elección del tipo de evaporador.....	2
2.3. Diseño del evaporador E-101	2
2.3.1. Selección de fluido calefactor	2
2.3.2. Selección del flujo por tubo y flujo por carcasa	3
2.3.3. Estimación del área de intercambio de calor necesaria	3
2.3.4. Propiedades de la corriente líquida	6
2.3.5. Características de los tubos.....	6
2.3.6. Disposición del haz de tubos.....	8
2.3.7. Dimensionamiento de la carcasa	9
2.3.8. Evaluación del coeficiente U real	11
2.3.9. Evaluación de los parámetros críticos.....	14
2.3.10. Elección de material de carcasa	16
2.3.11. Cálculo de pérdidas de presión	16
2.4. Resumen final del diseño del evaporador E-101.....	17
2.5. Diseño del evaporador E-102	18
3. Tanque de mezcla V-101	19
3.1. Dimensiones del recipiente.....	19
3.2. Elección de material	20
3.3. Diseño mecánico	20
3.3.1. Temperatura y presión de diseño	20
3.3.2. Espesor de la pared	21
3.3.3. Elección y diseño de los cabezales	23
3.3.4. Elección de la orientación y soporte del tanque.....	24
3.3.5. Carácter adiabático del recipiente	25
3.4. Resumen final del diseño del tanque V-101	26
4. Reactor R-201	27
4.1. Estudio de la reacción química.....	27
4.1.1. Hidrogenación de MA a GBL en fase gas: mecanismo y cinética	27
4.1.2. Deshidrogenación de BDO a GBL en fase gas: mecanismo y cinética.....	29
4.1.3. Reacción combinada	31
4.2. Tipo de reactor	32

4.3.	Diseño del reactor	33
4.3.1.	Catalizador industrial	33
4.3.2.	Masa de catalizador necesaria	33
4.3.3.	Dimensiones del reactor	38
4.3.4.	Perfiles de temperatura y concentraciones molares en el reactor.....	39
4.4.	Diseño mecánico del equipo	41
4.4.1.	Elección de material	41
4.4.2.	Caída de presión en el lecho catalítico.....	42
4.4.3.	Temperatura y presión de diseño	42
4.4.4.	Espesor de la carcasa	43
4.4.5.	Elección de cabezales: dimensionamiento y espesores.....	43
4.4.6.	Estudio del comportamiento adiabático.....	45
4.4.7.	Elección de orientación y soporte.....	48
4.4.8.	Elementos internos	48
4.5.	Resumen del diseño del reactor R-201	54
5.	Condensador E-301	55
5.1.	Criterios específicos de diseño.....	55
5.1.1.	Factor de corrección de la diferencia de temperatura	55
5.1.2.	Baffles internos en la carcasa.....	56
5.1.3.	Coeficientes de convección interno y externo.....	58
5.2.	Resumen de diseño del condensador E-301	59
6.	Columna de destilación T-301	61
6.1.	Introducción	61
6.2.	Diseño de la columna T-301.....	62
6.2.1.	Especificación del grado de separación requerido	62
6.2.2.	Selección de las condiciones de operación	63
6.2.3.	Selección de tipo de columna	65
6.2.4.	Determinación del número de etapas requerido y el reflujo necesario	66
6.2.5.	Etapas de entrada de alimentación	72
6.2.6.	Dimensionamiento de la columna	72
6.2.7.	Diseño mecánico de la columna T-301	91
6.3.	Resumen final de diseño de la columna T-301	94
7.	Intercambiador de calor E-401	95
8.	Referencias	96

1. Introducción

En este Anexo se detallan las consideraciones y métodos empleados en el diseño térmico, hidráulico y mecánico de los equipos principales de la planta. El objetivo es determinar las dimensiones, los parámetros y condiciones óptimas de diseño, los materiales en que deben fabricarse y los elementos internos del equipo (catalizadores, rellenos, ...) y externos (cabezales, soportes, ...) que más se adecúen al proceso.

Debido a la necesidad de cumplir con normas estándar, todos los cálculos se realizan conforme a los siguientes códigos de diseño:

- Normativa TEMA para diseñar los intercambiadores de calor
- Código ASME para el diseño mecánico de los equipos
- Normativa AISI-SAE en la elección de aceros y aleaciones de materiales no ferrosos

Los equipos que se diseñan en este proyecto son, en este orden: el evaporador E-101, el tanque de mezcla V-101, el reactor R-201 y la columna T-301. Del condensador E-301 y los intercambiadores E-102, E-302, E-303 y E-401 solo se presentan las tablas de diseño finales y ciertos criterios específicos, para no repetir conceptos previos y no incrementar en demasía la extensión de este trabajo.

2. Evaporadores E-101 y E-102

2.1. Introducción

Un evaporador es un intercambiador de calor en el que la energía térmica transmitida por el fluido calentador se emplea para la evaporación total o parcial del fluido de proceso. Generalmente, se emplea el término “evaporador” cuando la corriente se evapora completamente y “caldera” o “calderín” cuando se emplea como elemento de una columna de destilación, en el que sólo una fracción de corriente se evapora. El método de diseño para ambos es semejante.

Existen multitud de tipos de evaporadores, cada uno adecuado a diversas condiciones. La elección del tipo de evaporador depende de la presión de operación, del tamaño en planta disponible y de la naturaleza de la corriente líquida. Algunos de ellos se detallan en la figura 1.

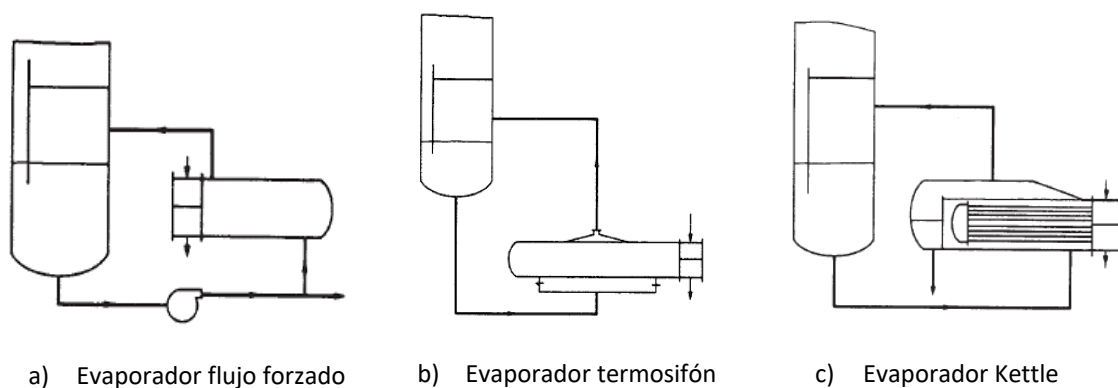


Figura 1. Tipos de evaporadores (Sinnott, 2005)

Los fundamentos principales para el diseño del evaporador son adecuar el tamaño y la distribución de los tubos para lograr la transmisión de calor necesaria, seleccionar qué fluido calefactor se emplea, decidiendo además si su paso es por tubos o por carcasa, y las dimensiones requeridas para lograr el flujo de vapor necesario.

En base a dichos fundamentos se desarrolla el método aplicado para el diseño de los evaporadores E-101 y E-102.

2.2. Elección del tipo de evaporador

Se seleccionan evaporadores de tipo Kettle (Figura 1c) en ambos casos, pues se consideran los más adecuados para lograr la vaporización total de las corrientes líquidas y ofrecer, a su vez, altas velocidades de vaporización. Un evaporador de termosifón requiere de cierta altitud debido a la carga hidrostática necesaria en el termosifón, añadiendo restricciones a la distribución de planta, y un evaporador de flujo forzado es más adecuado para columnas de destilación.

Un esquema del evaporador Kettle se enseña en la figura 2, cuya clasificación según la normativa TEMA es AKU. Los tubos en forma de U están sumergidos en el líquido, por ello no se alcanza un límite de vaporización. Además, un evaporador Kettle permite la limpieza o renovación de los tubos de una manera sencilla, simplemente retirando el cabezal frontal.

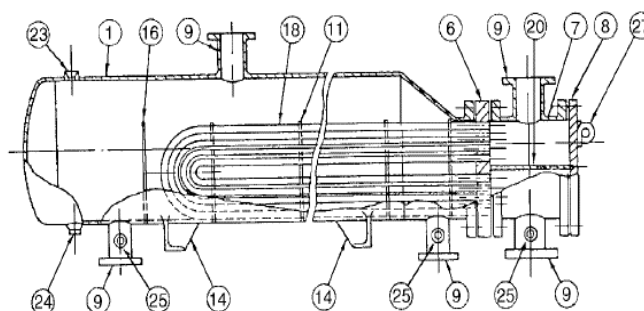


Figura 2. Evaporador tipo Kettle (Sinnott, 2005)

2.3. Diseño del evaporador E-101

El evaporador E-101 se emplea para elevar la temperatura de la corriente 1, compuesta por BDO líquido, desde los 25 °C iniciales hasta la temperatura de ebullición, provocando una evaporación en continuo.

2.3.1. Selección de fluido calefactor

La temperatura de ebullición de la corriente de BDO a 1 bar de presión es de 228 °C. Al ser una temperatura moderadamente elevada, se emplea como fluido calefactor vapor de agua saturado a alta presión (*hps*, a 40 barg) por ser más barato que un aceite térmico.

Las propiedades del vapor saturado se extraen de tablas de vapor saturado y se recogen en la tabla 1, y el flujo másico de vapor se obtiene del balance de energía. La transmisión de calor se produce al condensar el vapor a agua saturada.

Tabla 1. Datos de la corriente de utilidad hps del evaporador E-101

Propiedad	Valor
T (°C)	252,5
P (barg)	40
\dot{m} (kg/s)	0,291
ΔH_{vap} (kJ/kg)	1700
ρ (kg/m ³)	13,99

2.3.2. Selección del flujo por tubo y flujo por carcasa

En un intercambiador de calor es fundamental determinar qué corriente va a fluir por la carcasa y cuál por los tubos, atendiendo a criterios de costes y limpieza.

En un evaporador tipo Kettle la elección es sencilla: por los tubos circula el fluido calefactor y por carcasa el líquido a evaporar, acumulándose en su interior a cierta altura permitiendo la máxima transmisión de calor a todo el líquido. Este fenómeno, característico de los evaporadores, se conoce como “evaporación en piscina” (o *pool boiling*, en inglés).

De esta manera, la corriente líquida 1 formada por BDO va por carcasa y el vapor saturado va por los tubos.

2.3.3. Estimación del área de intercambio de calor necesaria

El área de transmisión de calor necesaria se relaciona con el flujo de calor total mediante la ecuación siguiente:

$$\dot{Q}_t = UA \Delta T_{ml} \quad (1)$$

Siendo:

\dot{Q}_t = Calor total requerido por el líquido para evaporarse (W)

U = Coeficiente global de transmisión de calor (W/m²·K)

A = Área de transmisión de calor (m²)

ΔT_m = Diferencia de temperatura media logarítmica (°C o K).

Despejando de la ecuación 1 el área, se obtiene:

$$A = \frac{\dot{Q}_t}{U \Delta T_{ml}} \quad (2)$$

Por lo tanto, para calcular el área de transmisión de calor se requiere analizar cada uno de los términos de la ecuación 2:

- El flujo de calor total \dot{Q}_t se obtiene del balance de energía al evaporador, tal y como se detalla en el Anexo I, Balances de materia y energía, apartado 2.1.

Se considera como la suma del calor sensible al aumentar hasta la temperatura de ebullición y el calor latente de evaporación, añadiéndole un 5% por pérdidas.

- La diferencia de temperatura media logarítmica ΔT_{ml} es la fuerza impulsora del intercambio de calor y se define como:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{c,e} - T_{f,s}) - (T_{c,s} - T_{f,e})}{\ln \left(\frac{T_{c,e} - T_{f,s}}{T_{c,s} - T_{f,e}} \right)} \quad (3)$$

En la ecuación anterior, los subíndices *c* y *f* se refieren a los fluidos caliente y frío, respectivamente, y los subíndices *e* y *s* a la entrada y salida.

Cuando el fluido que se desea evaporar es un compuesto único, en este caso BDO, y el fluido calefactor es vapor de agua, se considera que el intercambio de calor se produce isotérmicamente, y la diferencia de temperatura media se simplifica a la diferencia entre la temperatura de entrada del fluido calefactor, T_{hps} , y la temperatura de ebullición de la corriente líquida, $T_{eb,l}$:

$$\Delta T_m = T_{hps} - T_{eb,l} \quad (4)$$

La simplificación es adecuada a pesar de que el BDO líquido experimenta cambio de temperatura. El razonamiento es que la alimentación líquida se va a mezclar rápidamente con el líquido en el interior del evaporador, cercano al punto de ebullición.

- El coeficiente global de transmisión de calor U representa la resistencia total del equipo al intercambio de calor, considerado como una suma de varias resistencias. Es función del régimen de flujo, de las propiedades de las corrientes, del grado de ensuciamiento de las paredes y de las áreas de intercambio interna y externa de los tubos.

Para un intercambio de calor a través de los tubos, la expresión que lo determina es:

$$\frac{1}{U_0} = \left(\frac{1}{h_e} + f_e \right) + \frac{d_e \ln \left(\frac{d_e}{d_i} \right)}{2k_m} + \frac{d_e}{d_i} \left(\frac{1}{h_i} + f_i \right) \quad (5)$$

Siendo:

U_0 = Coeficiente global de transmisión de calor referido al área externa del tubo (W/m²·K)

h_e = Coeficiente de convección del fluido externo (W/m²·K)

h_i = Coeficiente de convección del fluido interno (W/m²·K)

f_e = Factor de ensuciamiento del fluido externo (m²·K/W)

f_i = Factor de ensuciamiento del fluido interno (m²·K/W)

d_e = Diámetro externo del tubo (m)

d_i = Diámetro interno del tubo (m)

k_m = Conductividad térmica del material de los tubos (W/m·K)

Como la distribución y diámetro de los tubos no se pueden determinar hasta que el área de transmisión sea conocida, se requiere de la realización de un proceso de ensayo y error partiendo de la estimación de un coeficiente global, U_{asum} . La figura 3 sirve como punto de partida en dicha estimación en función de los fluidos que se empleen.

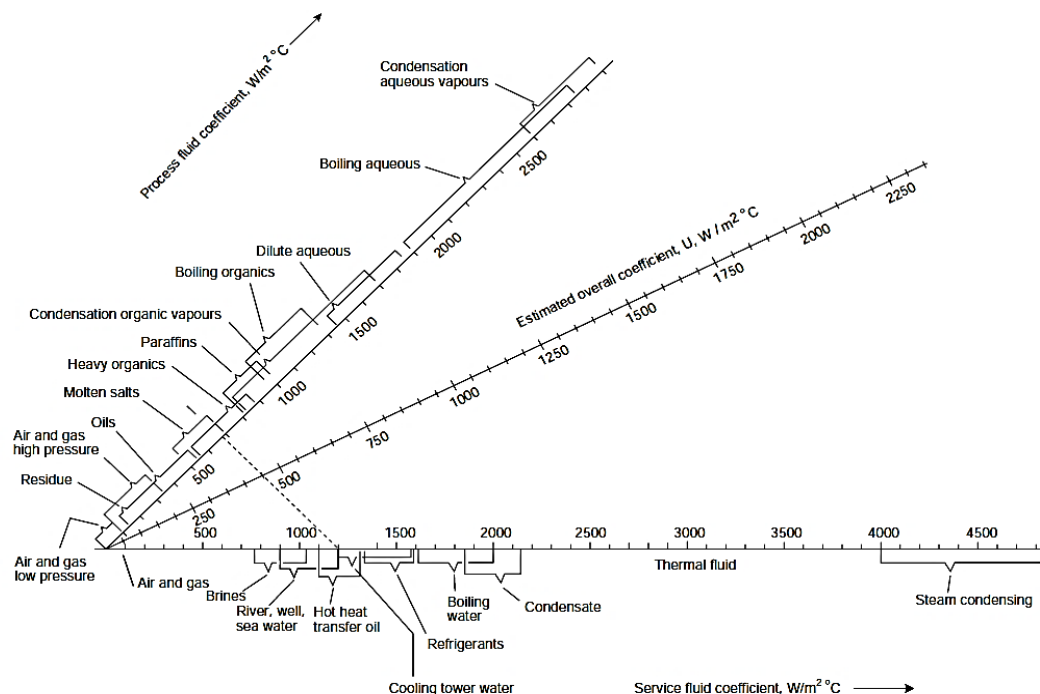


Figura 3. Estimación del coeficiente global de transmisión de calor (Sinnott, 2005)

Para este caso, en que se dispone de un fluido de proceso que es una sustancia orgánica para evaporar y un fluido calefactor que es vapor de agua saturado, se sugiere emplear un U_{asum} entre 500 y 1100 W/m²·K. Para la primera iteración, se escoge el valor intermedio de ambos, 800 W/m²·K.

En la tabla 2 se resumen los resultados obtenidos para la estimación del área necesaria, considerada para el diseño como área externa de transmisión de calor A_e .

Tabla 2. Cálculos en la estimación del área del evaporador E-101

Parámetro	Valor
\dot{Q}_t (kW)	494,45
T_{hps} (°C)	252,5
$T_{eb,l}$ (°C)	228
ΔT_m (°C)	24,5
U_{asum} (W/m² · K)	800
A_e (m²)	25,23

2.3.4. Propiedades de la corriente líquida

Los detalles de la entrada y la “piscina” de la corriente 1 de BDO se detallan en la tabla 2. Las propiedades termodinámicas se extraen de fuentes bibliográficas y del simulador Aspen Hysys.

Tabla 3. Datos de la corriente líquida del Evaporador E-101

Propiedad	Entrada	Media	Piscina
T (°C)	25,0	126,5	228
P (bar)	1,0	1,0	1,0
k (W/m · K)	0,1913	0,1605	0,1298
ρ (kg/m ³)	1006	881,1	756,1
C _p (kJ/kg · °C)	2,75	3,03	3,31
ν (m ² /s)	1,06·10 ⁻⁵	5,55·10 ⁻⁶	4,98·10 ⁻⁷
μ (kg/m · s)	1,07·10 ⁻²	4,89·10 ⁻³	1,06·10 ⁻⁵
\dot{q} (m ³ /s)	3,28·10 ⁻⁴	1,07·10 ⁻⁴	4,37·10 ⁻⁴

2.3.5. Características de los tubos

Como se comenta en el apartado 2.2, los tubos típicos de un evaporador Kettle tienen forma de U, que equivale en cierta medida a tubos con dos pasos por carcasa.

La selección de las dimensiones de los tubos se centra en encontrar un equilibrio entre la velocidad del vapor por los tubos, el área necesaria de transmisión de calor, las pérdidas de presión ocasionadas y la diferencia de temperatura de la corriente de proceso. El rango de velocidades, caídas de presión y diferencias de temperatura admisibles en el diseño para distintos fluidos se resume en la tabla 4.

Tabla 4. Velocidades y caídas de presión admisibles (Sinnott, 2005)

Propiedad	u tubos (m/s)	u carcasa (m/s)	$\Delta P_{\text{máx}}$ permitida (bar)	$\Delta T_{\text{máx}}$ permitida (°C)
Fluido de proceso	1 – 2	0,3 – 1	-	10 – 30
Viscoso	1 – 2	0,3 – 1	0,5 – 0,7	10 – 30
Poco viscoso	1 – 2	0,3 – 1	0,35	10 – 30
Agua	1,5 – 2,5	0,3 – 1	0,5 – 0,7	5 – 7
Vapor < 1 bar	50 – 70	50 – 70	0,1·P _{abs}	-
Vapor 1 – 2 bar	10 – 30	10 – 30	0,5·P _{man}	-
Vapor > 10 bar	5 – 10	5 – 10	0,1·P _{man}	-

De esta manera, un diseño se considera aceptable si cumple todos los requisitos, lo que conlleva aplicar ensayo y error hasta encontrar el equilibrio. Para resumir los cálculos, se detalla el método aplicado en la última iteración.

Las dimensiones de los tubos han de cumplir con el estándar ASME, y se referencia un link en la bibliografía de este anexo con la tabla de dimensiones. Los valores escogidos para el diseño se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Dimensiones estándar ASME de los tubos en U (SunnySteel, 2016; Usa Industries Inc., 2017)

Parámetro	Valor
Estándar ASME	5/8" BWG 12
d_e (in)	0,625
e (in)	0,12
d_i (in)	0,385
d_e (m)	0,016
e (m)	0,003
d_i (m)	0,001
L_t (ft)	24
L_t (m)	7,32

El número de tubos necesarios n_t se obtiene de dividir el área total necesaria de transmisión de calor entre el área lateral total de cada tubo, $A_{lat,tubo}$:

$$n_t = \frac{A_e}{A_{lat,tubo}} \quad (6)$$

Y la velocidad de paso del fluido por el tubo u_t se calcula dividiendo el caudal de fluido \dot{q} entre el área trasversal total de los tubos en U:

$$u_t = \frac{\dot{q}}{A_{tr,tubo} \cdot n_t} = \frac{\dot{q}}{\frac{\pi d_i^2}{4} \cdot n_t} \quad (7)$$

O escrito de otra manera:

$$u_t = \frac{\dot{m}_{hps} \cdot V_e}{A_{tr,total}} \quad (8)$$

Siendo V_e el volumen específico del vapor de agua saturado en m^3/kg obtenido en tablas de vapor saturado.

Tabla 6. Cálculo de número de tubos en U y velocidad de paso

Parámetro	Valor
$A_{lat,tubo}$ (m^2)	0,365
$A_{tr,tubo}$ (m^2)	$7,51 \cdot 10^{-5}$
$A_{lat,total}$ (m^2)	25,23
$A_{tr,total}$ (m^2)	$5,19 \cdot 10^{-3}$
V_e (m^3/kg)	0,048
\dot{q} (m^3/s)	0,014
n_t	70
u_t (m/s)	5,34

Como se comprueba en la tabla 6, la velocidad de paso por tubo está comprendida entre los valores aceptables para vapor a alta presión.

2.3.6. Disposición del haz de tubos

El diámetro del haz de tubos, conocido como D_b , se calcula en función del tipo de disposición de los tubos, ilustrados en la figura 4, empleando un esquema del área transversal del haz. Una buena aproximación se obtiene mediante la ecuación siguiente:

$$D_b = d_e \left(\frac{n_t}{K_1} \right)^{\frac{1}{n_1}} \quad (9)$$

Siendo K_1 y n_1 parámetros relacionados con la distribución de los tubos y el número de pasos por tubo en un intercambiador de calor. Los valores de los mismos se extraen de la tabla 7 suponiéndose, en este caso, que un tubo en U representa un tubo con dos pasos por carcasa.

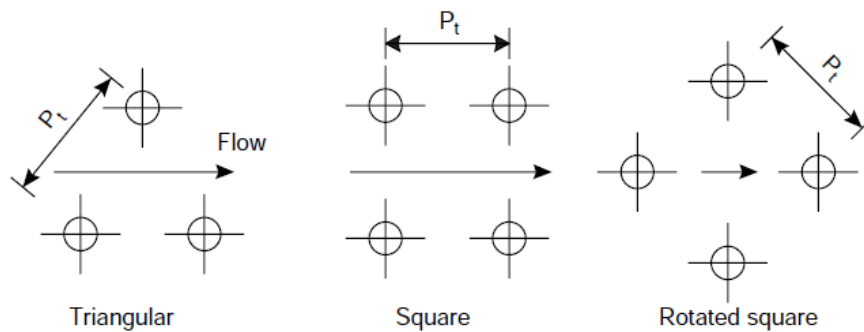


Figura 4. Tipo de distribución de tubos (pitch) (Sinnott, 2005)

Tabla 7. Parámetros K_1 y n_1 (Sinnott, 2005)

Triangular pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0.319	0.249	0.175	0.0743	0.0365
n_1	2.142	2.207	2.285	2.499	2.675
Square pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0.215	0.156	0.158	0.0402	0.0331
n_1	2.207	2.291	2.263	2.617	2.643

Para evitar el fenómeno conocido como “encubrimiento de vapor” o *vapour blanketing* en inglés, el pitch p_t debe ser entre 1,5 y 2 veces más amplio que el diámetro exterior de los tubos.

Se selecciona una disposición en cuadrado, que es preferible según la normativa TEMA cuando la caída de presión por carcasa en la operación es despreciable. Para estimar el diámetro de carcasa, se calcula la longitud del pitch empleando la ecuación 10, y en una base cuadrada con una separación entre vértices del largo del pitch, se distribuyen las entradas y salidas de los tubos hasta alcanzar el diámetro necesario.

$$p_t = 1,5d_e \quad (10)$$

En la figura 5 se representa esquemáticamente la distribución de tubos según el método gráfico mencionado.

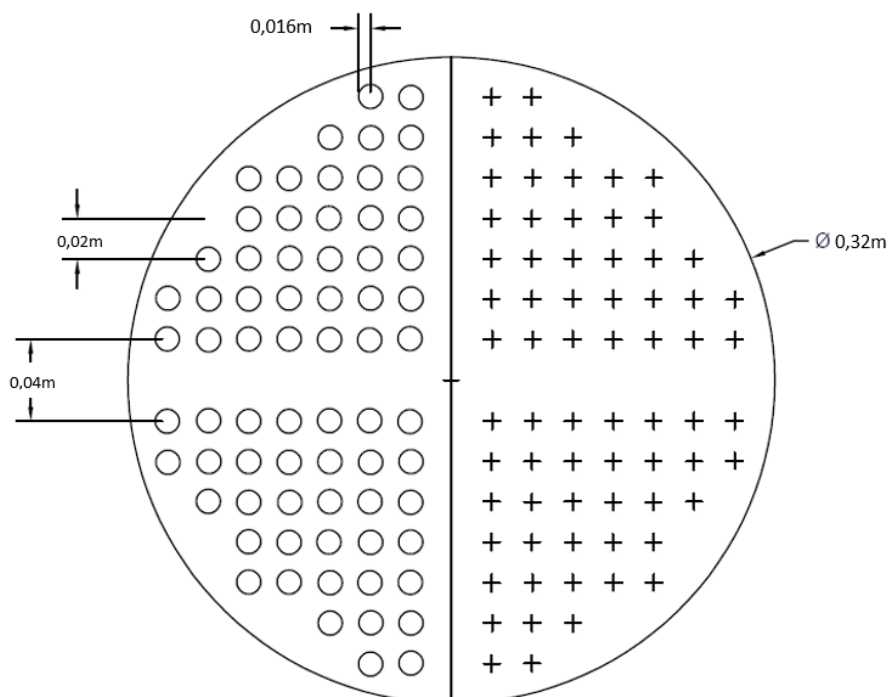


Figura 5. Distribución de tubos en el evaporador E-101 (Elaboración propia)

Tabla 8. Cálculos de la distribución de tubos

Parámetro	Valor
Disposición tubos	Cuadrado
p_t (m)	0,02
K_1	0,156
n_1	2,291
D_b gráfico (m)	0,318
D_b ec. 10 (m)	0,307
Error (%)	4,23

Como se comprueba en la tabla 8, el error producido al emplear la ecuación 9 y el método gráfico es muy bajo, cercano al 4%, por lo que se considera que ambos métodos son válidos. Se selecciona para el diseño el valor obtenido gráficamente al ser el mayor de ambos.

2.3.7. Dimensionamiento de la carcasa

El diámetro de la carcasa D_c se determina a partir del diámetro de haz de tubos. Un valor típico de diseño de este tipo de evaporadores es considerarlo 2 veces mayor que el diámetro del haz para así dejar espacio suficiente para formar la piscina de líquido. La altura del líquido h_l es también un factor de diseño, y se suele considerar que es 1,1 veces mayor que el diámetro del haz, quedando enteramente sumergido en el líquido.

La altura restante entre el líquido y la carcasa se denomina *freeboard* y debe ser superior a 0,25 metros. En volumen representa el espacio que emplea el vapor del líquido dentro de la carcasa.

La recta de la superficie del líquido w se determina aproximadamente como 0,9 veces el diámetro del haz, y el área superficial de líquido S_{liq} se calcula por geometría mediante la ecuación 11:

$$S_{liq} = w \frac{L_t}{2} \quad (11)$$

Finalmente, el largo de la carcasa se puede estimar como la mitad de la longitud de los tubos más un margen, que en este caso se considera de medio metro:

$$L_c = \frac{L_t}{2} + 0,5 \text{ m} \quad (12)$$

Tabla 9. Cálculos del dimensionamiento de carcasa

Parámetro	Valor
$D_c \text{ (m)}$	0,635
$h_l \text{ (m)}$	0,413
<i>Freeboard</i> (m)	0,222
$w \text{ (m)}$	0,572
$S_{liq} \text{ (m}^2\text{)}$	2,108
$L_c \text{ (m)}$	4,16

Un esquema de la distribución de los tubos y carcasa se muestra en la figura 6.

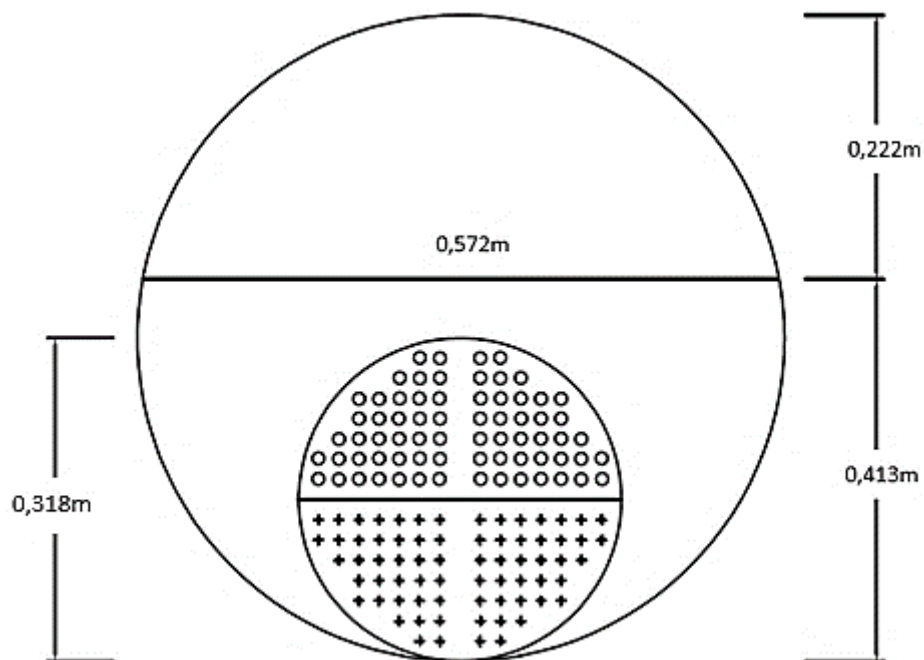


Figura 6. Plano transversal de la carcasa y haz de tubos (Elaboración propia)

2.3.8. Evaluación del coeficiente U real

Hasta este punto del diseño, se ha estado empleando el coeficiente U asumido en el apartado 2.3.3. El cálculo de U real se realiza aplicando la ecuación 5, y para ello es necesario determinar el material de fabricación de los tubos y los coeficientes de convección interno y externo, que se desarrollan en los siguientes subapartados.

2.3.8.1. Elección del material de los tubos

Se selecciona acero inoxidable para la fabricación de los tubos. La razón principal es su resistencia a la corrosión en un flujo de vapor de agua a elevadas temperaturas y que no reacciona con el BDO según su ficha técnica.

Más específicamente, dentro de la gama de aceros inoxidables, se elige el modelo AISI 316 por su mayor resistencia a la corrosión y altas temperaturas, bajo coste y amplia versatilidad frente a otro tipo de modelos.

Tabla 10. Propiedades relevantes del acero inoxidable AISI 316 (ASM, 2018)

Propiedad	Valor
Composición	16% Cr, 10% Ni, 2% Mo
ρ (kg/m ³)	7960
T fusión (°C)	1370 – 1400
k_m (W/m · K)	16,3

2.3.8.2. Coeficiente de convección interno

En el interior de los tubos fluye vapor de agua saturado que condensa a medida que circula por el tubo, generando una capa de condensado progresiva que dificulta el cálculo del coeficiente de convección.

Existen correlaciones empíricas para los dos modelos de flujo con condensación ilustrados en la figura 7. Se elige para el diseño el que genere un mayor coeficiente de convección.



Figura 7. Modelos de flujo en condensación (Sinnott, 2005)

Para flujo estratificado (Figura 7a), el coeficiente de convección se estima como:

$$(h_c)_s = 0,76k_L \left[\frac{\rho_l(\rho_l - \rho_v)g}{\mu_L \Gamma_v} \right]^{1/3} \quad (13)$$

Siendo, en la ecuación anterior:

$(h_c)_s$ = Coeficiente de convección estimado para flujo estratificado ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)

k_L = Conductividad térmica de la capa de condensado ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)

ρ_L = Densidad de la capa de condensado (kg/m^3)

ρ_v = Densidad del vapor saturado (kg/m^3)

g = Aceleración de la gravedad ($= 9,8 \text{ m/s}^2$)

μ_L = Viscosidad dinámica de la capa de condensado ($\text{kg/m}\cdot\text{s}$)

Γ_h = Ratio másico de condensación por longitud de tubo ($\text{kg/m}\cdot\text{s}$) calculado como:

$$\Gamma_h = \frac{\dot{m}_c}{L_t n_t} \quad (14)$$

\dot{m}_c = flujo másico total de condensado (kg/s)

Por otro lado, para flujo anular (figura 7b) se emplea la *correlación de Boyko y Kruzhilin* simplificada para vapor saturado:

$$(h_c)_a = h'_i \left[\frac{1 + \sqrt{\rho_L/\rho_v}}{2} \right] \quad (15)$$

En donde:

$(h_c)_a$ = Coeficiente de convección estimado para flujo anular ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)

h'_i = Coeficiente de convección evaluado para flujo único de condensado ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$), calculado mediante la correlación:

$$h'_i = 0,021 \left(\frac{k_L}{d_i} \right) Re^{0,8} Pr^{0,43} \quad (16)$$

Re = Número de Reynolds, adimensional, que indica el movimiento de un fluido:

$$Re = \frac{u d_i \rho}{\mu} \begin{cases} Re \leq 2100 & \text{flujo laminar} \\ 2100 \leq Re \leq 4000 & \text{flujo en transición} \\ Re > 4000 & \text{flujo turbulento} \end{cases} \quad (17)$$

Pr = Número de Prandtl, adimensional, que relaciona la velocidad de difusión de la cantidad de movimiento y la velocidad de difusión de calor:

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad (18)$$

Dado que el coeficiente de convección para vapor de agua saturado suele tener valores altos y rara vez es el coeficiente limitante en la ecuación 5, para diseños preliminares se toma un coeficiente de $8000 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. En la tabla 11 se representan los cálculos de los dos tipos de flujo y el valor preliminar de diseño a modo de comparativa, y se observa que es satisfactorio al aproximarse a los métodos empíricos.

Tabla 11. Cálculo del coeficiente de convección interno

Parámetro	Valor
$(h_c)_s$ (W/m ² · K)	7729,2
$(h_c)_a$ (W/m ² · K)	7334,1
h_c preliminar (W/m ² · K)	8000

2.3.8.3. Coeficiente de convección externo

Para estimar el coeficiente de convección en una “piscina” de líquido en ebullición, se puede emplear la *correlación de Mostinski*, pues se consiguen aproximaciones suficientemente buenas respecto a ecuaciones más complejas:

$$h_{nb} = 0,104(P_c)^{0,69}(\dot{Q}_t'')^{0,7} \left[1,8 \left(\frac{P}{P_c} \right)^{0,17} + 4 \left(\frac{P}{P_c} \right)^{1,2} + 10 \left(\frac{P}{P_c} \right)^{10} \right] \quad (19)$$

En donde:

h_{nb} = Coeficiente de convección de la “piscina” de líquido (W/m²·K)

P = Presión de operación (bar)

P_c = Presión crítica del líquido (bar)

\dot{Q}_t'' = Flujo de calor por unidad de superficie de intercambio de calor (W/m²)

Tabla 12. Cálculo del coeficiente de convección externo

Parámetro	Valor
P (bar)	1
P_c (bar)	48,7
\dot{Q}_t'' (W/m ²)	19600
h_{nb} (W/m ² · K)	1484,9

2.3.8.4. Estimación de los factores de ensuciamiento

Los valores típicos de coeficientes de ensuciamiento para procesos comunes se enlistan en la tabla 14. A pesar de que se han establecido para intercambiadores de carcasa y tubos, sirven igualmente en un evaporador Kettle.

En este caso se tiene vapor de agua que condensa en el interior (*steam condensate* en la tabla) y compuesto orgánico que evapora en el exterior (*boiling organic*). Se seleccionan valores intermedios.

Tabla 13. Valores de los factores de ensuciamiento seleccionados

Parámetro	Valor
f_i (m ² · K/W)	0,0001
f_e (m ² · K/W)	0,0004

Tabla 14. Coeficientes y factores de ensuciamiento típicos en procesos industriales (Sinnott, 2005)

Fluid	Coefficient (W/m ² °C)	Factor (resistance) (m ² °C/W)
River water	3000–12,000	0.0003–0.0001
Sea water	1000–3000	0.001–0.0003
Cooling water (towers)	3000–6000	0.0003–0.00017
Towns water (soft)	3000–5000	0.0003–0.0002
Towns water (hard)	1000–2000	0.001–0.0005
Steam condensate	1500–5000	0.00067–0.0002
Steam (oil free)	4000–10,000	0.0025–0.0001
Steam (oil traces)	2000–5000	0.0005–0.0002
Refrigerated brine	3000–5000	0.0003–0.0002
Air and industrial gases	5000–10,000	0.0002–0.0001
Flue gases	2000–5000	0.0005–0.0002
Organic vapours	5000	0.0002
Organic liquids	5000	0.0002
Light hydrocarbons	5000	0.0002
Heavy hydrocarbons	2000	0.0005
Boiling organics	2500	0.0004
Condensing organics	5000	0.0002
Heat transfer fluids	5000	0.0002
Aqueous salt solutions	3000–5000	0.0003–0.0002

2.3.8.5. Cálculo de coeficiente U real

La ecuación 20 es una adaptación de la ecuación 5 a un evaporador Kettle, y permite obtener el valor de U real. Se considera un diseño adecuado cuando el error relativo entre los valores de U_{asum} y U_{real} es inferior a un 30%.

$$\frac{1}{U_{real}} = \left(\frac{1}{h_{nb}} + f_e \right) + \frac{d_e \ln \left(\frac{d_e}{d_i} \right)}{2k_m} + \frac{d_e}{d_i} \left(\frac{1}{h_c} + f_i \right) \quad (20)$$

En la siguiente tabla se muestran los resultados del cálculo y su comparación con el valor asumido inicialmente. Se comprueba que el error es menor de 30% con lo que el diseño se considera válido.

Tabla 15. Cálculo del coeficiente U real

Parámetro	Valor
U_{real} (W/m ² · K)	597,14
U_{asum} (W/m ² · K)	800
Error (%)	25,4%

2.3.9. Evaluación de los parámetros críticos

Los parámetros críticos en el diseño de un evaporador Kettle son el flujo de calor por unidad de área máximo permitido por el haz de tubos, y la velocidad crítica de vapor en la superficie del líquido. Un diseño aceptable es aquel en el que ambos parámetros están por debajo de los valores críticos.

Para el evaporador E-101, se desarrollan los cálculos en los siguientes subapartados.

2.3.9.1. Flujo de calor crítico

Para calcular el flujo de calor crítico se emplea la ecuación modificada de Zuber:

$$\dot{Q}_{cb}'' = K_b \left(\frac{p_t}{d_e} \right) \left(\frac{\Delta H_{vap}}{\sqrt{N_t}} \right) [\sigma g (\rho_L - \rho_v) \rho_v^2]^{0,25} \quad (21)$$

Siendo:

\dot{Q}_{cb}'' = Flujo crítico de calor por el haz de tubos (W/m²)

σ = Tensión superficial del líquido al condensar el vapor (N/m²)

K_b = Constante característica de la disposición de tubos (= 0,44 en cuadrado, 0,41 en triángulo)

Al valor obtenido por la ecuación 21 hay que aplicarle un factor de seguridad de 0,7, según se especifica en la bibliografía.

$$\dot{Q}_{cb}'' \text{ corregido} = 0,7 \cdot \dot{Q}_{cb}'' \quad (22)$$

Las propiedades del agua saturada se extraen de tablas de vapor saturado. Los resultados de dicho cálculo y comparativa con el flujo de calor real se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Cálculo del flujo de calor crítico

Parámetro	Valor
K_b	0,44
σ (N/m ²)	0,0255
\dot{Q}_{cb}'' (W/m ²)	303556,6
\dot{Q}_{cb}'' corregido (W/m ²)	212489,6
\dot{Q}_t'' (W/m ²)	19600

El flujo real es de 19600 W/m², por lo que es aceptable al estar muy por debajo del valor crítico.

2.3.9.2. Tasa crítica de vapor en la superficie

La velocidad del vapor en la superficie de líquido, obtenida mediante la ecuación 23, debe ser menor que la velocidad crítica obtenida mediante la ecuación 24 para evitar el excesivo arrastre de líquido en el vapor.

$$u_v = \frac{\dot{q}_{hps}}{S_{liq}} \quad (23)$$

$$\hat{u}_v = 0,2 \left(\frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v} \right)^{1/2} \quad (24)$$

Se observa en la tabla 17 que el valor real es bastante menor que el crítico, de manera que el diseño es aceptable.

Tabla 17. Cálculo del flujo de calor crítico

Parámetro	Valor
u_v (m/s)	0,071
\hat{u}_v (m/s)	4,004

2.3.10. Elección de material de carcasa

Para la carcasa, se escoge acero al carbono principalmente debido a que el BDO no reacciona ante este material, según se indica en la ficha técnica, y su bajo coste, alta resistencia térmica y elevada resistencia a la torsión lo convierten en un material adecuado. Las propiedades del acero elegido se detallan en la tabla 18.

Tabla 18. Propiedades relevantes del acero al carbono SA 516 Gr. 70 (Brown McFarlane, 2018)

Propiedad	Valor
Composición	0,27% C, 0,90% Mn, 0,40% Si
ρ (kg/m ³)	7800
T_{\max} operación (°C)	1100
k_m (W/m · K)	52
S_{\max} (N/m ²)	$5,5 \cdot 10^8$

2.3.11. Cálculo de pérdidas de presión

En evaporadores Kettle, se considera que las pérdidas por presión del líquido a evaporar en la carcasa son despreciables.

La caída de presión en los tubos se produce por la fricción y turbulencia del flujo, y el valor máximo permitido se recoge en la tabla 4. Como el fluido que circula es vapor saturado a alta presión que condensa, la caída de presión máxima debe ser 1/10 de la presión manométrica.

La ecuación general para caída de presión en condiciones isotérmicas es:

$$\Delta P = 8j_f \left(\frac{L_t}{d_i} \right) \frac{\rho u_t^2}{2} \cdot 10^{-5} \quad (25)$$

Siendo:

ΔP = Caída de presión (bar)

j_f = Factor de fricción adimensional, que se determina a partir del número de Reynolds y de la figura 8.

Tabla 19. Cálculo de las caídas de presión

Propiedad	Valor
P_{man} (barg)	40
μ (kg/m · s)	$1,81 \cdot 10^{-5}$
Re	56291,39
j_f	0,0031
ΔP (bar)	0,11
ΔP_{\max} (bar)	3,9

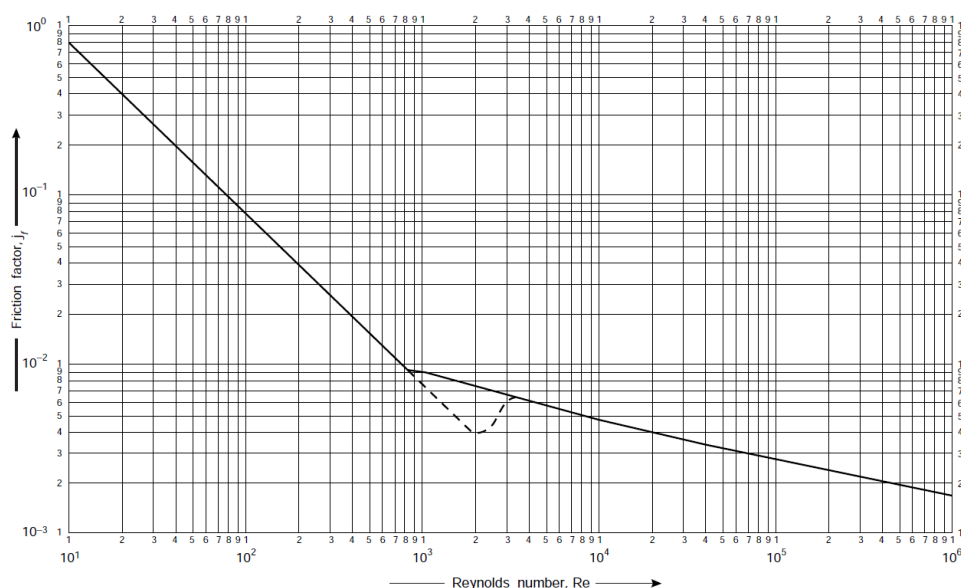


Figura 8. Estimación del factor de fricción j_f (Sinnott, 2005)

2.4. Resumen final del diseño del evaporador E-101

Todos los parámetros de diseño del evaporador E-101 se agrupan en la tabla 20.

Tabla 20. Detalles de diseño del Evaporador E-101

Evaporador E-101	
Tipo	Kettle
Nomenclatura TEMA	AUK
Calor (kW)	492,4
Área (m ²)	25,23
ΔT_m (°C)	24,50
U (W/m ² ·K)	800
Diseño tubos	
Tipo	Tubos en U
Material	SS AISI 316
Número tubos	70
Tamaño estándar ASME	5/8" BWG 12
Longitud (m)	7,32
Diámetro haz (m)	0,32
Disposición	Cuadrado
Diseño carcasa	
Material	SA 516 Gr. 70
Diámetro (m)	0,64
Altura de líquido (m)	0,41
Longitud (m)	4,16
Parámetros relevantes de diseño	
Velocidad vapor (m/s)	0,07
Calor por área (kW/m ²)	19,6

2.5. Diseño del evaporador E-102

En el evaporador E-102 se calienta y evapora la corriente líquida de MA desde los 70 °C iniciales. El procedimiento de diseño es análogo al del evaporador E-101, y por ese motivo sólo se presenta la tabla resumen con las características finales de diseño.

Tabla 21. Detalles de diseño del Evaporador E-102

Evaporador E-102	
Tipo	Kettle
Nomenclatura TEMA	AUK
Calor (kW)	207,7
Área (m²)	8,73
ΔT_m (°C)	28
U (W/m²·K)	850
<i>Diseño tubos</i>	
Tipo	Tubos en U
Material	SS AISI 316
Número tubos	20
Tamaño estándar ASME	3/4" BWG 13
Longitud (m)	7,32
Diámetro haz (m)	0,22
Disposición	Cuadrado
<i>Diseño carcasa</i>	
Material	SA 516 Gr. 70
Diámetro (m)	0,43
Altura de líquido (m)	0,28
Longitud (m)	4,16
<i>Parámetros relevantes de diseño</i>	
Velocidad vapor (m/s)	0,06
Calor por área (kW/m²)	23,8

3. Tanque de mezcla V-101

El tanque de mezcla V-101 se emplea para mezclar las dos corrientes de reactivos y la corriente procedente de recirculación. Se determinan las dimensiones del tanque necesarias, y se realiza el diseño mecánico según la normativa ASME BPV Sección VIII División 1 para recipientes a presión interna.

3.1. Dimensiones del recipiente

El volumen del tanque se obtiene a partir de un tiempo de residencia t_r que se asume como suficiente para que se homogenice la mezcla.

$$V_T = \frac{\dot{m}_m t_r}{\rho_m} \quad (26)$$

Siendo en la ecuación anterior V_T el volumen del tanque en m^3 , \dot{m}_m el flujo másico de entrada o salida del tanque de mezcla en kg/s obtenido del balance de materia, ρ_m la densidad de la mezcla en kg/m^3 y t_r el tiempo de residencia en segundos. Estableciendo un t_r de 10 segundos, se obtiene:

Tabla 22. Cálculo del volumen de recipiente requerido

Propiedad	Valor
\dot{m}_m (kg/s)	1,31
ρ_m (kg/m ³)	0,122
t_r (s)	10
V_T (m ³)	106,9

Según la normativa ASME, la relación entre la longitud y el diámetro del recipiente debe situarse entre 3 y 5, dependiendo de la presión interna, el tamaño en planta disponible, los esfuerzos a los que se somete y los costes asociados. Como norma general se emplea como factor determinante la presión interna, tal y como se detalla en la tabla 23.

Tabla 23. L/D apropiado según la presión interna (Sinnott, 2005)

Presión interna	L/D
0 – 15 bar	3
15 – 30 bar	4
> 300 bar	5

El tanque V-101 está sometido a una presión interna de 1,5 bar o 0,5 barg (manométrica), por lo que se establece una relación de 3. El diámetro y la longitud del recipiente se calculan con las ecuaciones siguientes, y se sobredimensionan un 10% por motivos de seguridad:

$$D_T = \left(\frac{4V_T}{\pi \left(\frac{L_T}{D_T} \right)} \right)^{1/3} \quad (27)$$

$$L_T = \left(\frac{L_T}{D_T} \right) D_T \quad (28)$$

Tabla 24. Dimensiones del tanque de mezcla V-101

Propiedad	Valor
D_T (m)	3,57
L_T (m)	10,7
D_T sobredimensionado (m)	3,93
L_T sobredimensionado (m)	11,77

3.2. Elección de material

El principal problema a la hora de escoger un material en este recipiente y cualquiera con una alta proporción de hidrógeno, es la alta degradación que este compuesto provoca a las propiedades mecánicas de las estructuras metálicas, incluyendo numerosos tipos de aceros. Este efecto tiene lugar a altas, moderadas y bajas presiones.

La mezcla contiene más de 95% de hidrógeno en volumen, que corresponde a un 52% en masa, por lo que se debe elegir un material estructural que resista dicha degradación. Numerosos estudios se han llevado a cabo para este fin, pues de alguna manera se ha de almacenar el hidrógeno puro, y existen a día de hoy diversas alternativas que, a pesar de no ser tan económicas, son bastante efectivas.

En este proyecto, se opta por un acero de baja aleación, modelo ASME SA 372 Gr. J Clase 70, basándose en el estudio de C. San Marchi (2013) "*Measurement of Fatigue Crack Growth Rates for SA-372 Gr. J Steel in 100 MPa Hydrogen Gas Following Article KD-10*". Comparándolo con otros aceros de baja aleación y otros tipos de materiales, se logran resultados muy satisfactorios. Es además ampliamente utilizado en la industria como material de almacenaje de hidrógeno a alta presión, entre 300 y 700 bar.

Ningún otro compuesto de la mezcla ocasiona corrosión o degradaciones estructurales importantes. Las propiedades del material son la siguientes:

Tabla 25. Propiedades relevantes del acero de baja aleación SA 372 Gr. J Clase 70 (San Marchi, 2013)

Propiedad	Valor
Composición	0,8% Cr, 0,35% C, 0,75% Mn
ρ (kg/m ³)	7800
T_{\max} operación (°C)	1420
k_m (W/m · K)	44
S_{\max} (N/m ²)	$8,27 \cdot 10^8$
Tiempo vida en H ₂ (años)	> 10

3.3. Diseño mecánico

3.3.1. Temperatura y presión de diseño

Para realizar el diseño mecánico de un recipiente a presión, se debe establecer la temperatura y presión de diseño.

- La temperatura de diseño se define como la temperatura máxima o mínima de operación aplicándole un margen de seguridad de +50°F (para máximo) o -25°F (para mínimo):

$$\hat{T}_{dis} = \hat{T}_{op} + 50^{\circ}F \quad (29)$$

$$\check{T}_{dis} = \check{T}_{op} - 25^{\circ}F \quad (30)$$

- La presión de diseño se define como el valor máximo entre aplicarle un 10% al valor de la presión manométrica interna o añadirle 25 psi:

$$P_{dis} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,1 \cdot P_{op,g} \\ P_{op,g} + 25 \text{ psi} \end{array} \right. \quad (31)$$

Siendo \hat{T}_{op} y \check{T}_{op} la temperatura máxima y mínima de diseño respectivamente en °F, y $P_{op,g}$ la presión interna manométrica dentro del recipiente en psi.

Para realizar la conversión entre las unidades, se emplean las siguientes expresiones:

$$T (^{\circ}F) = \frac{9}{5} T (^{\circ}C) + 32 \quad (32)$$

$$P (\text{psi}) = 14,504 P (\text{bar}) \quad (33)$$

El cálculo de la temperatura y presión de diseño se muestra en la tabla 26 en unidades del SI.

Tabla 26. Temperatura y presión de diseño

Parámetro	Valor
\hat{T}_{op} (°C)	246,08
\hat{T}_{dis} (°C)	273,85
$P_{op,g}$ (bar)	0,50
P_{dis} (bar)	2,24

3.3.2. Espesor de la pared

La norma ASME BPV Code Sec. VIII División 1 especifica el espesor requerido en un recipiente a presión interna, que debe ser suficiente para soportar tanto la carga de tensión radial como los esfuerzos a nivel longitudinal. Las expresiones para los espesores mínimos en función de la carga sometida son:

$$t_{rad} = \frac{P_{dis} D_i}{2S_{m\acute{a}x} E - 1,2P_{dis}} \quad (34)$$

$$t_{long} = \frac{P_{dis} D_i}{4S_{m\acute{a}x} E - 0,8P_{dis}} \quad (35)$$

Siendo:

t_{rad} = Espesor de la pared mínimo requerido para soportar la carga radial (m)

t_{long} = Espesor de la pared mínimo requerido para soportar la carga longitudinal (m)

$S_{m\acute{a}x}$ = Esfuerzo máximo permisible del material (N/m²)

E = Eficacia de la unión soldada (%), que se obtiene a partir de la tabla 27 extraída del código ASME.

Tabla 27. Eficacia de unión soldada, E (Sinnott, 2005)

Tipo de junta	Grado de examen radiográfico		
	Completo	Puntual	Ninguno
Soldadura simple con banda de apoyo	0,90	0,80	0,65
Empalme con doble soldadura	1,00	0,85	0,70

Para el diseño del tanque V-101 se considera el empleo de soldadura simple con banda de apoyo y un grado de examen radiográfico completo, con lo que $E = 0,90$.

Las características del material se especifican en el apartado 3.2, la presión de diseño en el apartado 3.3.1 y el diámetro del recipiente en el apartado 3.1. Por coherencia con las dimensiones, los espesores calculados se indican en milímetros.

Tabla 28. Cálculo de los espesores mínimos según esfuerzos radial y longitudinal

Parámetro	Valor
t_{rad} (mm)	0,54
t_{long} (mm)	0,27

Se comprueba que el espesor radial es el mayor y será el empleado en el diseño. A este valor hay que sumarle un factor de seguridad correspondiente al incremento en el espesor mínimo necesario para soportar la corrosión generada por los compuestos:

Tabla 29. Determinación de los incrementos en espesores mínimos por corrosión (Sinnott, 2005)

Corrosión	Incremento espesor (mm)
Baja	2
Elevada	4

Como se ha explicado en el apartado 3.2, el hidrógeno es bastante corrosivo, por lo que un incremento de 4 milímetros es lo recomendable.

La suma del espesor mínimo y el incremento por corrosión debe satisfacer además un mínimo suficiente para soportar la carga del peso del recipiente y cualquier otra carga a mayores. Como regla general y en función del diámetro del recipiente, el espesor de las paredes no debe ser inferior a los mostrados en la tabla 30:

Tabla 30. Espesor de la pared mínimo para soporte de carga por peso (Sinnott, 2005)

Diámetro recipiente (m)	Espesor mínimo (mm)
1	5
1 – 2	7
2 – 2,5	9
2,5 – 3	10
3 – 3,5	12

En el caso de este tanque V-101, el diámetro está fuera de rango. No obstante, se establece que el espesor mínimo de la pared debe ser el asociado a mayor diámetro de la tabla 30, es decir, 12 milímetros o más. El factor determinante para el espesor es el soporte del peso del recipiente. Para el diseño final, el espesor estándar ASME utilizado en la pared de la carcasa t_c , es de 0,5 pulgadas, que corresponde a 12,7 milímetros de espesor.

Tabla 31. Cálculo de los espesores mínimos según código ASME BPV S.VIII Div.1

Parámetro	Valor
$t_{rad} + \text{corrosión (mm)}$	4,54
$t_c \text{ (mm)}$	12
$t_c \text{ estándar (mm)}$	12,7

3.3.3 Elección y diseño de los cabezales

Los cabezales son las cubiertas superior e inferior del tanque. Seleccionar un buen cabezal implica una mejor distribución de las cargas dentro del recipiente y afecta directamente a su volumen total.

En un recipiente cilíndrico, se suelen emplear cabezales planos o cabezales esféricos. Los cabezales planos tienen la ventaja de ser muy baratos, pero estructuralmente no son muy eficientes. En cambio, los cabezales esféricos reducen gradualmente el efecto de cambio de forma del recipiente en sus extremos (de cilíndrico a esférico), disminuyendo los esfuerzos locales en gran medida respecto a los cabezales planos. Por este motivo, son los más empleados en la industria

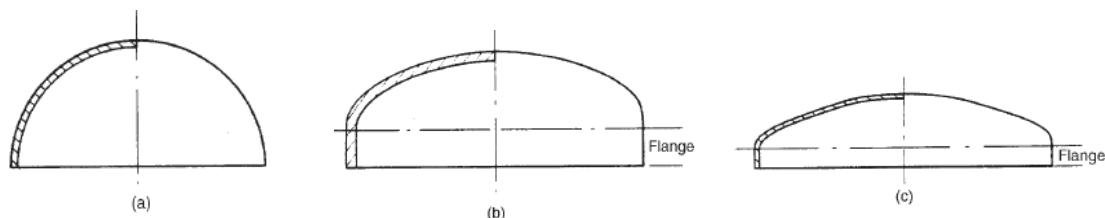


Figura 9. Cabezales esféricos: a) Hemisférico b) Elíptico c) Toriesférico (Sinnott, 2005)

Tabla 32. Características de los distintos modelos de cabezales esféricos (Sinnott, 2005)

	Hemisférico	Elíptico	Toriesférico
Ventajas	- Bueno para $\uparrow P$ - Mayor volumen interno	- Más barato que hemisférico - Más común a $P > 15\text{bar}$	- Más barato a $P < 15\text{bar}$ - Fácil de fabricar
Desventajas	- Caro de fabricar	- Menos volumen interno que hemisférico	- Poco volumen interno
Espesores mínimos (ASME)	$t_H = \frac{P_{dis} D_i}{4S_{m\acute{a}x} E - 0,4P_{dis}}$	$t_E = \frac{P_{dis} D_i}{2S_{m\acute{a}x} E - 0,2P_{dis}}$	$t_T = \frac{0,885P_{dis} R_c}{S_{m\acute{a}x} E - 0,1P_{dis}}$ $R_c \text{ (radio corona)} = D_i$
Espesor real	- Mitad que la carcasa	- Mismo que la carcasa	- Mismo que la carcasa

Los tres tipos de cabezal esférico más comunes son los ilustrados en la figura 9, y en la tabla 32 se discuten las ventajas y desventajas de cada modelo.

La presión de diseño del tanque V-101 es inferior a 15 bar, por lo que se considera el empleo de cabezales toriesféricos del mismo material que la estructura principal. Se calcula el espesor mínimo requerido y se comprueba si el espesor de la carcasa satisface dicha condición.

Tabla 33. Cálculo de los espesores mínimos según código ASME BPV S.VIII D.1

Parámetro	Valor
$t_T + \text{corrosión (mm)}$	4,9
$t_C \text{ estándar (mm)}$	12,7

Como el espesor del cabezal mínimo tiene que ser de 4,9 milímetros, se emplea un espesor estándar 12,7 milímetros para todo el recipiente incluidos los cabezales.

3.3.4. Elección de la orientación y soporte del tanque

Se decide orientar el tanque verticalmente. La principal razón es reducir el área necesaria en la instalación, dadas sus grandes dimensiones.

Para un recipiente vertical, se suelen emplear soportes de falda, que consisten en una coraza cilíndrica o cónica acoplada a la base del cabezal inferior. Los diseños típicos se ilustran en la figura 10.

Para este recipiente, se decide acoplarle un soporte de falda cónico, sobre todo para soportar mejor las cargas por peso del material, ya que así están más distribuidas.

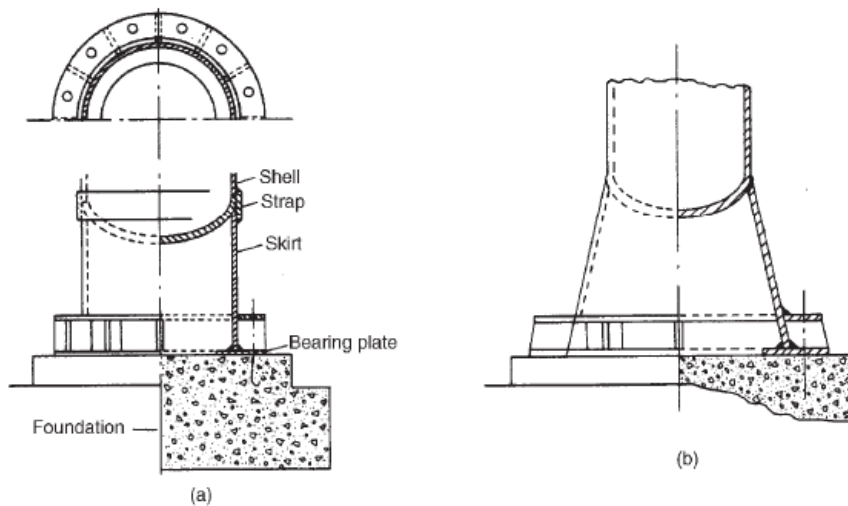


Figura 10. Soportes de falda para recipientes verticales: a) cilíndrico b) cónico (Sinnott, 2005)

3.3.5. Carácter adiabático del recipiente

El tanque de mezcla V-101 contiene una mezcla de gases a elevada temperatura, por lo que en este apartado se analizan las pérdidas caloríficas hacia el exterior del tanque y la posible necesidad de emplear un aislante.

Para el cálculo del calor transmitido, se hace uso de la temperatura más fría del año de la ubicación de la planta. En días más cálidos, la diferencia de temperaturas será menor y por ello menos relevante. El calor transmitido al exterior mediante una superficie cilíndrica es:

$$\dot{Q}_t = \frac{T_{\infty,i} - T_{\infty,e}}{\frac{1}{h_i \pi d_i L} + \frac{\ln(d_e/d_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_e \pi d_e L}} \quad (36)$$

Siendo $T_{\infty,i}$ y $T_{\infty,e}$ la temperatura media de la mezcla y la temperatura del aire exterior media más fría del año en °C, respectivamente. Los coeficientes de convección empleados en el cálculo son valores medios típicos para gases en convección forzada y aire en convección natural, extraídos de la bibliografía.

Tabla 34. Estudio del carácter adiabático del tanque de mezcla V-101

Propiedad	Valor
$T_{\infty,i}$ (°C)	245,00
$T_{\infty,e}$ (°C)	5,6
h_i (W/m ² K)	100
h_e (W/m ² K)	15
\dot{Q}_t (kW)	398,41
ΔT mezcla (°C)	32,75

El calor transmitido es muy elevado, lo que reduce la temperatura de la mezcla hasta los 212,25°C, lejos del objetivo de mantenerla a una temperatura cercana a los 245 °C de entrada al reactor R-201. Es por ello que se debe emplear un aislante.

Se escoge como material aislante fibra de vidrio sintética, en concreto de la marca comercial *Owens Corning® UtiliCore® Fiberglas*, cuya ficha técnica se puede conseguir en la página web del fabricante y que se anexa en la bibliografía. Este modelo es un excelente aislante exterior, pues es impermeable y tiene una conductividad térmica muy baja, y además no se considera tóxico ni peligroso para el medio ambiente. Sin embargo, es relativamente más caro que otras opciones menos eficientes disponibles en el mercado.

Se opta por asegurar una buena hermeticidad calorífica en el tanque V-101 a expensas de aumentarle el coste, y se decide emplear dos capas de 1'' de espesor: la primera de ellas, del modelo HP5 II Mat, y la segunda del modelo L1. Las características de cada modelo se muestran en la tabla 35.

Tabla 35. Características de dos modelos de fibra aislante Owens Fiberglas (Owens Coming, 2016)

Propiedad	L1	HP5 II Mat
Tamaños disponibles (in)	1,0	1,0
ρ (kg/m ³)	16	80
k (W/m ² K)	0,074	0,044
$T_{\text{máx}}$ (°C)	1250	1500

El cálculo para el calor transmitido con las dos capas de aislante es:

$$\dot{Q}_t = \frac{T_{\infty,i} - T_{\infty,e}}{\frac{1}{h_i \pi d_i L} + \frac{\ln(d_e/d_i)}{2\pi k L} + \frac{\ln(d_{L1}/d_e)}{2\pi k_{L1} L} + \frac{\ln(d_{HP5}/d_{L1})}{2\pi k_{HP5} L} + \frac{1}{h_e \pi d_{HP5} L}} \quad (37)$$

Siendo d_{L1} y d_{HP5} los diámetros de la carcasa más la capa de aislante L1 y aislante HP5, respectivamente, en metros.

Tabla 36. Cálculo de la temperatura de la mezcla al añadirle dos capas de aislante

Propiedad	Valor
d_{L1} (°C)	3,64
d_{HP5} (°C)	3,69
\dot{Q}_t (kW)	6,67
ΔT mezcla (°C)	0,57

La diferencia de temperaturas de la mezcla disminuye considerablemente con el aislante, y es posible afirmar que en estas condiciones el comportamiento del tanque es adiabático.

3.4. Resumen final del diseño del tanque V-101

Para finalizar el diseño del tanque de mezcla, se detallan en la tabla 37 las características principales en base a los cálculos de los apartados anteriores.

Tabla 37. Detalles de diseño del tanque de mezcla V-101

Tanque de mezcla V-101	
Orientación	Vertical
Material	AISI SA-372 Gr. J C.70
Cabezales	Toriesféricos
Soporte	Soporte de falda cónico
<i>Dimensiones</i>	
Longitud (m)	11,77
Diámetro interno (m)	3,93
Espesor estándar (mm)	12,7 (0,5 in.)
<i>Aislante</i>	
Material aislante	Fibra de vidrio
Modelo comercial	Owens Fiberglas
Primera capa	1" modelo L1
Segunda capa	1" modelo HP5 II Mat

4. Reactor R-201

El reactor R-201 es la unidad de la planta donde se desarrolla la reacción química del proceso. Para poder diseñar este equipo, es necesario comprender el comportamiento del sistema reactivo, la mecánica de la reacción y su cinética.

4.1. Estudio de la reacción química

El sistema reactivo para la producción de GBL comprende el acople de dos reacciones químicas en fase gas en un medio catalítico: la hidrogenación exotérmica de MA y la deshidrogenación endotérmica de BDO.

El sistema combinado puede llevarse a cabo empleando el mismo tipo de catalizador con base de cobre. En función del soporte de catalizador empleado para el acoplamiento de ambas reacciones químicas (aluminio, óxido de zinc...), se puede modificar la selectividad de los productos y la conversión.

La cinética de la reacción también depende fundamentalmente del catalizador empleado. Es por ello que, para comprender mejor el comportamiento del catalizador y su influencia en la reacción combinada, se estudia cada reacción química por separado.

4.1.1. Hidrogenación de MA a GBL en fase gas: mecanismo y cinética

Mediante la hidrogenación catalítica de MA pueden obtenerse diversos productos, como GBL, anhídrido succínico (SA), tetrahydrofurano (THF), BDO y otros compuestos de la hidrogenólisis, como el propanol o el ácido propanoico. Una representación esquemática del proceso se representa en la figura 11.

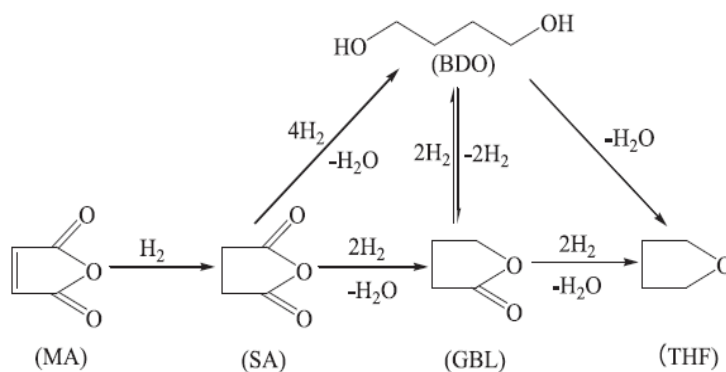


Figura 11. Camino de reacción de la hidrogenación de MA (Yang Yu, 2011)

Para mejorar la conversión de MA y selectividad de GBL se han llevado a cabo multitud de estudios con diferentes catalizadores de base de cobre, como Cu-ZnO-MgO-Cr₂O₃, Cu-ZnO-Al₂O₃, Cu-ZnO-TiO₂ o Cu-CeO₂-Al₂O₃. En la tabla 38 se presentan de manera detallada el rendimiento de los distintos catalizadores, obtenido de los recursos bibliográficos.

Tabla 38. Rendimiento de catalizadores basados en cobre en la hidrogenación de MA a GBL a 1 atmósfera (Yang Yu, 2011)

Catalizador	T reacción (°C)	H ₂ :MA molar	Selectividad GBL (%)
Cu-ZnO-MgO-Cr ₂ O ₃	245	121	82,7
Cu-ZnO-Al ₂ O ₃	275	299	96,0
Cu-ZnO-TiO ₂	265	200	99,2
Cu-ZnO-CdO-Cr ₂ O ₃	245	299	88,0
Cu-ZnO-CeO ₂	235	50	91,1
Cu-ZnO-ZrO ₂	220	50	85,0
Cu-Pd(ni)-TiO ₂ -Al ₂ O ₃	220	32	100
Cu-CeO ₂ -Al ₂ O ₃	220	9	100

Los resultados de la tabla 38 permiten llegar a las siguientes conclusiones:

- La presencia de óxido de zinc reduce la selectividad de GBL.
- Los catalizadores formados por Cu-Pd(ni)-TiO₂-Al₂O₃ y Cu-CeO₂-Al₂O₃ son los únicos que logran un 100% de conversión.

En un estudio realizado en 1998, *Herrmann et al.* llega a las mismas conclusiones empleando catalizadores industriales de diferente composición. La explicación que en dicho estudio se propone es que la hidrogenación del compuesto intermedio SA finaliza completamente en la formación de GBL en catalizadores sin óxido de zinc. Por otro lado, en catalizadores con dicho óxido, la GBL continúa hidrogenándose hasta producir una pequeña cantidad de BDO. Ello parece implicar que el óxido de zinc provee de puntos de adsorción adicionales, permitiendo la hidrogenación de GBL.

En definitiva, el catalizador compuesto por Cu-CeO₂-Al₂O₃ parece ser el más indicado para llevar a cabo la reacción química. Sin embargo, no se expone en ningún recurso literario de una ecuación cinética de la reacción para este catalizador, y dado el carácter bibliográfico de este proyecto, es un dato necesario. El único catalizador del que se ha obtenido una ecuación cinética es el Cu-ZnO-Al₂O₃, que es actualmente uno de los más empleados en la industria química para la producción de GBL por deshidrogenación de BDO.

Zhao et al. proponen en su estudio “*Kinetics Study on Maleic Anhydride Gas-Phase Hydrogenation to γ-Butyrolactone*” un mecanismo de reacción empleando este catalizador. Los experimentos cinéticos se han llevado a cabo bajo condiciones de reacción en las que se puede despreciar el efecto de la difusión interna y externa, de modo que la etapa limitante sea la reacción química. Además, se alcanza una conversión de MA del 100% para evitar la influencia de una reacción reversible.

Se propone la siguiente ecuación cinética:

$$-r_{MA} = r_{GBL} = kC_{MA}^m C_{H_2}^n \quad (38)$$

Siendo:

r_{GBL} = Velocidad de reacción de formación de GBL (mol GBL/ml·s)

k = Constante cinética (1/s)

C_{MA} = Concentración de MA (mol/ml)

C_{H_2} = Concentración de H_2 (mol/ml)

m = Orden de reacción de MA

n = Orden de reacción de H_2

Los datos cinéticos obtenidos por Zhao se ajustan a una reacción cinética de primer orden respecto al MA y de orden cero para el hidrógeno con un error del 4,6%, suficiente para considerarlo válido.

Los parámetros de coeficiente cinético $k_0 = 2,57 \cdot 10^{14}$ y la energía de activación $E_A = 132$ kJ/mol se obtienen empleando la ecuación de Arrhenius, por lo que la ecuación 38 se transforma en:

$$r_{GBL} = k_0 e^{\left(\frac{-E_A}{RT}\right)} C_{MA} = 2,57 \cdot 10^{14} e^{\left(\frac{-132000}{RT}\right)} C_{MA} \quad (39)$$

Que, en función de la masa de catalizador, es:

$$r'_{GBL} = \frac{V}{W} r_{GBL} = k'_0 e^{\left(\frac{-E_A}{RT}\right)} C_{MA} \quad (40)$$

$$r'_{GBL} = 4,18 \cdot 10^{15} e^{\left(\frac{-132000}{RT}\right)} C_{MA} \quad (41)$$

En donde:

r'_{GBL} = Velocidad de reacción de formación de GBL por masa de catalizador (kmol GBL/kg_{cat}·h)

V = Volumen de reactor (m³)

W = Masa de catalizador empleado (kg_{cat})

C_{MA} = Concentración de MA (kmol/m³)

k'_0 = Constante cinética en función de la masa de catalizador (m³/kg_{cat}·h)

R = Constante universal de los gases ideales (= 8,31 J/mol·K)

T = Temperatura de reacción (K)

4.1.2. Deshidrogenación de BDO a GBL en fase gas: mecanismo y cinética

El mecanismo para la deshidrogenación catalítica de BDO fue propuesto inicialmente por Ichikawa *et al.* en el año 2004 en su estudio “*Dehydrogenative cyclization of 1,4-butanediol over copper-based catalyst*”, empleando un catalizador de Cu-ZnO-ZrO₂-Al₂O₃

Los productos derivados de la deshidrogenación del BDO dependiendo de las condiciones de reacción son: 4-hidroxibutanal en resonancia con su aldehído butanedial (SDA), 2-hidroxitetrahydrofurano (2-HTHF), GBL y THF. El esquema sugerido se presenta en la siguiente ilustración.

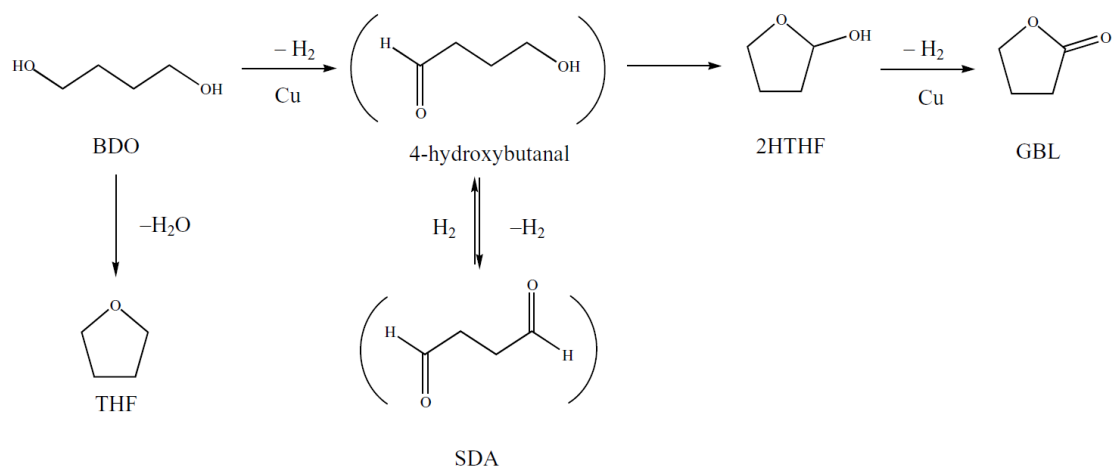


Figura 12. Camino de reacción de la deshidrogenación catalítica de BDO (Ichikawa, 2004)

En dicho estudio, se estudia la variación de la selectividad de GBL y la conversión de BDO en función de las proporciones de cada componente del catalizador, llegando a la conclusión de que la proporción idónea es de 6 Cu : 1 ZnO : 2 ZrO₂ : 2 Al₂O₃, todo en moles. A 260°C y bajo hidrógeno en exceso, se logra una conversión del 99,5% y selectividad del 98%.

El mecanismo sugerido es el siguiente: el BDO se deshidrogena inicialmente a 4-hidroxibutanal, transformándose rápidamente en el hemiacetal 2HTHF. Este compuesto continúa la deshidrogenación hasta producir GBL. No se ha evidenciado una oxidación parcial del BDO a THF ni la reacción de esterificación *Tishchenko* del 4-hidroxibutanal en catalizadores con base de cobre.

Para obtener la cinética, se simplifica el modelo de la figura 12:



Siendo k_1 y k_2 las constantes cinéticas de cada etapa.

Los datos del informe se adecúan experimentalmente a un modelo de reacción de primer orden, con una relación entre las constantes cinéticas $k_2/k_1 = 48$, lo que indica que la etapa limitante en la formación de GBL es la deshidrogenación de BDO a 2HTHF, o más bien, de BDO a 4-hidroxibutanal.

Interpretando los datos anteriores, *Javaid et. al* sugiere en 2014 la ecuación cinética siguiente:

$$-r'_{BDO} = r'_{GBL} = k_1 C_{BDO} = k_{1,0} e^{\left(\frac{-E_A}{RT}\right)} C_{BDO} = 1,68 \cdot 10^6 e^{\left(\frac{-48173}{RT}\right)} C_{BDO} \quad (43)$$

Siendo:

$k_{1,0}$ = la constante cinética por masa de catalizador (kmol GBL/kg_{cat}·h)

C_{BDO} = Concentración de BDO (kmol/m³)

4.1.3. Reacción combinada

En el año 2002, *Zhu et al.* publican un artículo donde se expone la posible viabilidad de combinar la hidrogenación catalítica de MA y la deshidrogenación catalítica de BDO en un único sistema reactivo. Las ventajas de dicho acoplamiento son múltiples: aprovechamiento energético al combinar una reacción exotérmica con una endotérmica, balance del hidrógeno producido por una reacción para ser utilizado como reactivo en la otra y posibilidad de emplear el mismo catalizador para ambas.

Las reacciones individuales estudiadas en los apartados anteriores se muestran en la figura 13, y la reacción combinada de ambas en la figura 14.

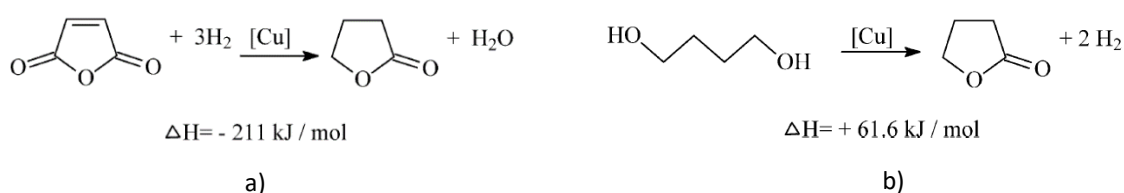


Figura 13. Esquema de las reacciones químicas: a) hidrogenación de MA, b) deshidrogenación de BDO (Zhu, 2002)

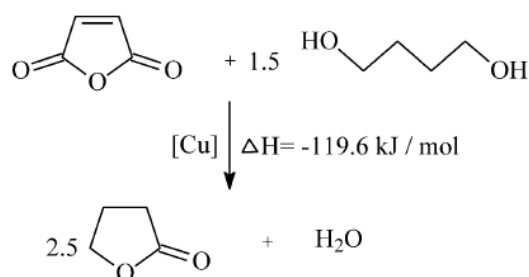


Figura 14. Esquema de la reacción química combinada (Zhu, 2002)

El ratio molar empleado de MA:BDO es de 1:1,5 para balancear el hidrógeno consumido y el producido por ambos reactivos, por lo que teóricamente la necesidad de hidrógeno es nula. Aun así, la reacción combinada obtiene mejores resultados si se efectúa con hidrógeno en exceso, en un ratio H_2 :MA muy alto, siendo el óptimo de 150:1 que será el utilizado en este proyecto. Empleando un catalizador de $\text{Cu-ZnO-Al}_2\text{O}_3$, se presenta en la tabla 39 una comparativa entre los procesos individuales y el proceso combinado de ambas:

Tabla 39. Comparativa entre las reacciones individuales de formación de GBL y la reacción catalítica combinada de ambas (Zhu, 2002)

Reacción	T (°C)	H_2 :Reactivo molar	Selectividad GBL (%)	Conversión (%)
$\text{MA} + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{GBL} + \text{H}_2\text{O}$	275	150	93,6	100
$\text{BDO} \rightarrow \text{GBL} + 2\text{H}_2$	260	150	98,3	100
$\text{MA} + 1,5\text{BDO} \rightarrow 2,5\text{GBL} + \text{H}_2\text{O}$	245	150	98,6	100

Se observa que no solo el proceso es viable, sino que ofrece mejores resultados que los procesos individuales, reduciendo en hasta 30 °C la temperatura de reacción necesaria e incrementando la selectividad de GBL. Esto es debido a que las especies de hidrógeno activo en la superficie del

catalizador procedentes de la deshidrogenación de BDO promueven la reacción de hidrogenación de MA.

Para diseñar el reactor R-201, se simplifican los cálculos considerando que la selectividad de GBL es 100% y que no se forman subproductos.

4.2. Tipo de reactor

Para llevar a cabo la reacción química, se decide emplear un reactor catalítico de lecho fijo. Se diferencian dos tipos dentro de los reactores catalíticos, esquematizados en la figura 15.

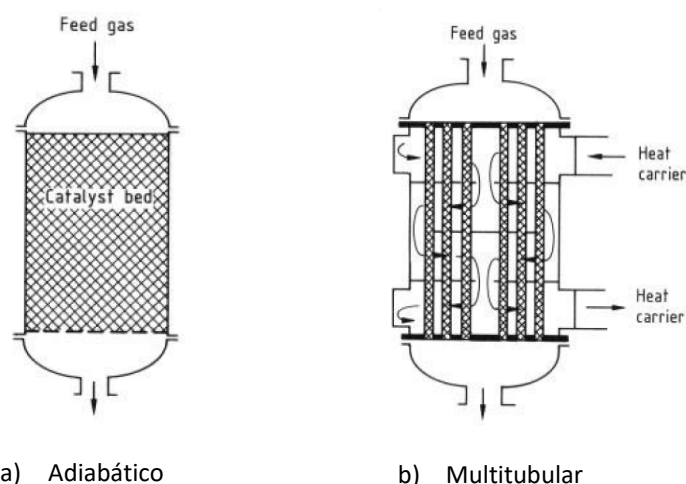


Tabla 15. Tipos de reactores catalíticos de lecho fijo (Ullmann, 2006)

Se ha estudiado la posibilidad de un reactor isotérmico multitubular catalítico (figura 15b) en el que se pueda controlar la temperatura mediante un fluido refrigerante, pero finalmente se ha descartado por los siguientes motivos:

- El calor de la reacción combinada no es muy elevado y se espera que los gases a la salida se calienten poco.
- La reacción se completa desde los 240 hasta casi los 300 °C ofreciendo buenos resultados. Si la temperatura de los gases no se incrementa demasiado, no debería existir problema de rendimiento.
- Es improbable que la reacción conjunta se des controle porque ambas se complementan entre sí y, de producirse una alteración en el balance del sistema reactivo, éste se regula indirectamente con la entrada o salida de hidrógeno en el proceso.

De esta manera, se considera como buena solución utilizar un reactor catalítico adiabático de lecho fijo, que es el utilizado en la mayoría de los estudios bibliográficos en los que se basa este proyecto. El principal problema aparente de emplear este tipo de reactor, es la formación de puntos calientes o “hotspots” que puedan provocar una polimerización de los reactivos orgánicos, dando lugar al conocido como bloqueo de poros o “pore blocking” si se produce en los poros del catalizador. Es por ello que debe implementarse al reactor un buen sistema de distribución del flujo de entrada y sistemas de medida de la distribución de temperaturas.

El reactor en sí consiste en una estructura cilíndrica que contiene en su interior un lecho de catalizador dispuesto de forma aleatoria. En la parte superior se coloca un difusor de gases para que el flujo de entrada se reparta a lo largo de todo el relleno de catalizador y no se formen caminos preferentes, reduciendo además la formación de los anteriormente mencionados puntos calientes.

4.3. Diseño del reactor

4.3.1. Catalizador industrial

El catalizador de Cu-ZnO-Al₂O₃ industrial empleado es el modelo TMC-3/1 de la marca *INS Pulawy and ZA Tarnów S.A.* Se utiliza principalmente la síntesis de metanol mediante el proceso BASF, pero es igualmente válido para las reacciones químicas presentadas en este proyecto. Las características del catalizador son las siguientes:

Tabla 40. Propiedades del catalizador industrial INS Pulawy TMC-3/1 (Ledakowicz, 2013)

Formato	Tabletas cilíndricas
Composición (% peso)	55 CuO, 30 ZnO, 15 Al ₂ O ₃
Dimensiones (Diám. x Alt., mm)	4,5 x 3,5
Propiedades	
Área específica, A_g (m ² /g)	75 – 80
Porosidad, ϵ (m ³ hueco/m ³ lecho)	0,395
Densidad catalizador, ρ_{cat} (kg/m ³)	2150
Densidad lecho, ρ_{lecho} (kg/m ³)	1300
Temperatura de desactivación (°C)	296,8

4.3.2. Masa de catalizador necesaria

Para determinar las dimensiones del reactor, es necesario calcular el volumen del lecho, obtenido mediante la ecuación siguiente:

$$V_{lecho} = \frac{W_{cat}}{\rho_{lecho}} \quad (44)$$

Siendo:

V_{lecho} = volumen del lecho (m³)

W_{cat} = masa necesaria de catalizador (kg)

La masa total de catalizador necesario se toma como la suma de la masa de catalizador que requiere el BDO y la masa de catalizador que requiere el MA. No obstante, en la práctica el valor real de catalizador será menor ya que se aprovechan los sitios activos de hidrógeno. Aplicando un balance de materia a los dos reactivos en estado estacionario, se puede calcular la masa de catalizador necesaria para cada uno. Así, para el MA:

$$Entrada = Salida + Acumulación \quad (45)$$

$$F_{MAo} - F_{MAo}X_{MA,e} = F_{MAo} - F_{MAo}X_{MA,s} + (-r'_{MA})\Delta W \quad (46)$$

Que, en forma diferencial:

$$F_{MAo} dX_{MA} = (-r'_{MA}) dW \quad (47)$$

E integrando para todo el reactor:

$$\frac{W_{MA}}{F_{MAo}} = \int_0^{X_{MA}} \frac{dX_{MA}}{(-r'_{MA})} \quad (48)$$

Siendo:

W_{MA} = Masa de catalizador necesaria para la hidrogenación de MA (kg)

F_{MAo} = Flujo molar de entrada al reactor de MA (kmol/h)

X_{MA} = Conversión del reactivo MA, calculada como:

$$X_{MA} = \frac{C_{MA,o} - C_{MA}}{C_{MA,o}} \quad (49)$$

En donde $C_{MA,o}$ es la concentración inicial de MA en la mezcla. De forma análoga, para el BDO:

$$\frac{W_{BDO}}{F_{BDOo}} = \int_0^{X_{BDO}} \frac{dX_{BDO}}{(-r'_{BDO})} \quad (50)$$

Siendo:

W_{BDO} = Masa de catalizador necesaria para la deshidrogenación de BDO (kg)

F_{BDO} = Flujo molar de entrada al reactor de MA (kmol/h)

Por tanto, la masa de catalizador total necesaria se estima como:

$$W_{cat} = W_{BDO} + W_{MA} = F_{BDOo} \int_0^{X_{BDO}} \frac{dX_{BDO}}{(-r'_{BDO})} + F_{MAo} \int_0^{X_{MA}} \frac{dX_{MA}}{(-r'_{MA})} \quad (51)$$

Para resolver la integral, se aplica integración numérica mediante la regla de los trapecios:

$$\int_a^b f(X) = \frac{h}{2} [f(a) + 2f(a+h) + 2f(a+2h) + \dots + f(b)] \quad (52)$$

En donde:

h = Valor del subintervalo, que se calcula dividiendo los extremos de integración entre el número de intervalos n :

$$h = \frac{b - a}{n} \quad (53)$$

El objetivo es subdividir el intervalo de integración en pequeños subintervalos, de tal forma que:

$$\int_0^X \frac{dX}{(-r')} = \int_0^h \frac{dX}{(-r')} + \int_{2h}^{3h} \frac{dX}{(-r')} + \dots + \int_{(X-h)}^X \frac{dX}{(-r')} \quad (54)$$

En las tablas 42 y 43 se muestran los resultados obtenidos aplicando el método de los trapecios a cada reactivo desde una conversión de 0% hasta 99%, que se considera suficientemente cercano al 100% de conversión que por el desarrollo matemático planteado tiende a infinito. En dichas tablas, las concentraciones iniciales de cada reactivo se calculan aplicando las ecuaciones 55 y 56.

$$C_{BDO,o} = \frac{F_{BDO}}{\dot{q}_m} \quad (55)$$

$$C_{MA,o} = \frac{F_{MA}}{\dot{q}_m} \quad (56)$$

Siendo \dot{q}_m el flujo volumétrico de la mezcla, obtenido como la suma de los flujos volumétricos parciales de cada componente:

$$\dot{q}_m = \sum_i \dot{q}_i = \sum_i \frac{\dot{m}_i}{\rho_i} \quad (57)$$

Los datos de entrada al reactor se obtienen del balance de materia, que se representan en la tabla 41.

Tabla 41. Propiedades de la corriente de entrada al reactor (Condiciones: T=245 °C, P=1,5 bar)

Componente	F_i (kmol/h)	\dot{m}_i (kg/h)	\dot{q}_i (m ³ /h)
BDO	13,20	1189,59	378,38
MA	8,80	862,93	252,25
H2	1320	2653,20	37837,59
GBL	0,04	3,79	1,26
H2O	0,37	6,60	10,51
MEZCLA	1342,41	4716,13	38479,99

Tabla 42. Cálculo de la masa de catalizador necesaria para la deshidrogenación de BDO.

X_{BDO}	C_{BDO} (kmol/m ³)	$-r'_{BDO}$ (kmol/kg·h)	$1/(-r'_{BDO})$ (kg·h/kmol)	Área	Área trapezios	W_{BDO} (kg)
0	$3,43 \cdot 10^{-4}$	$7,95 \cdot 10^{-3}$	125,8	125,8	763,9	10082,99
0,05	$3,26 \cdot 10^{-4}$	$7,55 \cdot 10^{-3}$	132,4	264,8		
0,10	$3,09 \cdot 10^{-4}$	$7,16 \cdot 10^{-3}$	139,8	279,5		
0,15	$2,92 \cdot 10^{-4}$	$6,76 \cdot 10^{-3}$	148,0	296,0		
0,20	$2,74 \cdot 10^{-4}$	$6,36 \cdot 10^{-3}$	157,2	314,5		
0,25	$2,57 \cdot 10^{-4}$	$5,96 \cdot 10^{-3}$	167,7	335,4		
0,30	$2,40 \cdot 10^{-4}$	$5,57 \cdot 10^{-3}$	179,7	359,4		
0,35	$2,23 \cdot 10^{-4}$	$5,17 \cdot 10^{-3}$	193,5	387,0		
0,40	$2,06 \cdot 10^{-4}$	$4,77 \cdot 10^{-3}$	209,6	419,3		
0,45	$1,89 \cdot 10^{-4}$	$4,37 \cdot 10^{-3}$	228,7	457,4		
0,50	$1,72 \cdot 10^{-4}$	$3,98 \cdot 10^{-3}$	251,6	503,1		
0,55	$1,54 \cdot 10^{-4}$	$3,58 \cdot 10^{-3}$	279,5	559,0		
0,60	$1,37 \cdot 10^{-4}$	$3,18 \cdot 10^{-3}$	314,5	628,9		
0,65	$1,20 \cdot 10^{-4}$	$2,78 \cdot 10^{-3}$	359,4	718,8		
0,70	$1,03 \cdot 10^{-4}$	$2,39 \cdot 10^{-3}$	419,3	838,6		
0,75	$8,58 \cdot 10^{-5}$	$1,99 \cdot 10^{-3}$	503,1	1006,3		
0,80	$6,86 \cdot 10^{-5}$	$1,59 \cdot 10^{-3}$	628,9	1257,9		
0,85	$5,15 \cdot 10^{-5}$	$1,19 \cdot 10^{-3}$	838,6	1677,1		
0,90	$3,43 \cdot 10^{-5}$	$7,95 \cdot 10^{-4}$	1257,9	2515,7		
0,95	$1,72 \cdot 10^{-5}$	$3,98 \cdot 10^{-4}$	2515,7	5031,4		
0,99	$3,43 \cdot 10^{-6}$	$7,95 \cdot 10^{-5}$	12578,5	12578,5		

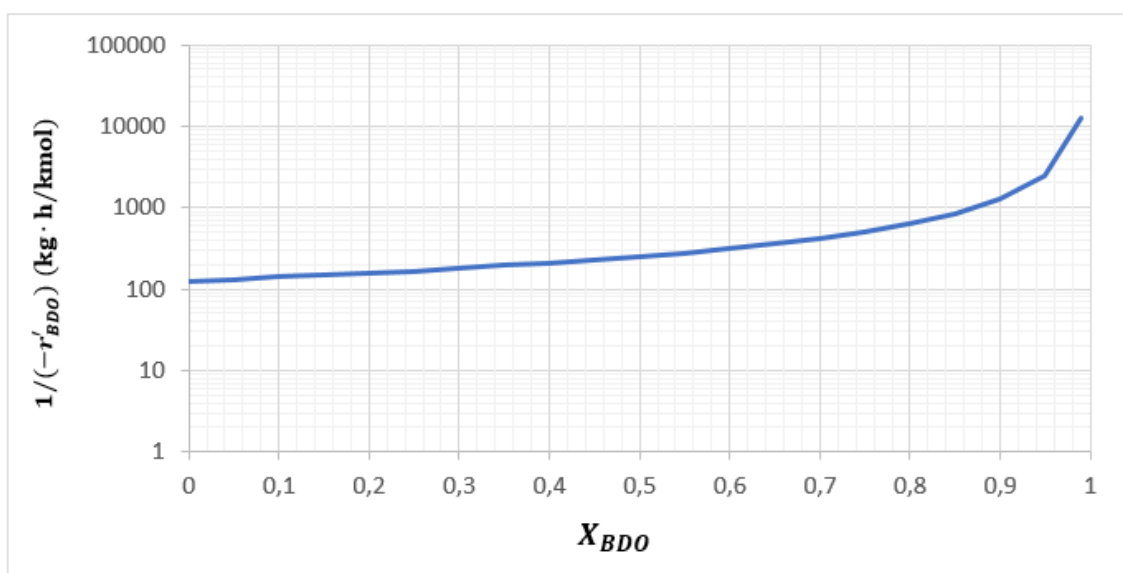


Figura 16. Representación gráfica del cálculo de la masa de catalizador para la deshidrogenación de BDO.

Tabla 43. Cálculo de la masa de catalizador necesaria para la hidrogenación de MA.

X_{MA}	C_{MA} (kmol/m ³)	$-r'_{MA}$ (kmol/kg·h)	$1/(-r'_{MA})$ (kg·h/kmol)	Área	Área trapezios	W_{MA} (kg)
0	$2,29 \cdot 10^{-4}$	$4,71 \cdot 10^{-2}$	21,25	21,25	128,98	1135,37
0,05	$2,17 \cdot 10^{-4}$	$4,47 \cdot 10^{-2}$	22,36	44,73		
0,10	$2,06 \cdot 10^{-4}$	$4,24 \cdot 10^{-2}$	23,61	47,21		
0,15	$1,94 \cdot 10^{-4}$	$4,00 \cdot 10^{-2}$	24,99	49,99		
0,20	$1,83 \cdot 10^{-4}$	$3,77 \cdot 10^{-2}$	26,56	53,11		
0,25	$1,72 \cdot 10^{-4}$	$3,53 \cdot 10^{-2}$	28,33	56,65		
0,30	$1,60 \cdot 10^{-4}$	$3,29 \cdot 10^{-2}$	30,35	60,70		
0,35	$1,49 \cdot 10^{-4}$	$3,06 \cdot 10^{-2}$	32,69	65,37		
0,40	$1,37 \cdot 10^{-4}$	$2,82 \cdot 10^{-2}$	35,41	70,82		
0,45	$1,26 \cdot 10^{-4}$	$2,59 \cdot 10^{-2}$	38,63	77,26		
0,50	$1,14 \cdot 10^{-4}$	$2,35 \cdot 10^{-2}$	42,49	84,98		
0,55	$1,03 \cdot 10^{-4}$	$2,12 \cdot 10^{-2}$	47,21	94,42		
0,60	$9,15 \cdot 10^{-5}$	$1,88 \cdot 10^{-2}$	53,11	106,23		
0,65	$8,00 \cdot 10^{-5}$	$1,65 \cdot 10^{-2}$	60,70	121,40		
0,70	$6,86 \cdot 10^{-5}$	$1,41 \cdot 10^{-2}$	70,82	141,64		
0,75	$5,72 \cdot 10^{-5}$	$1,18 \cdot 10^{-2}$	84,98	169,96		
0,80	$4,57 \cdot 10^{-5}$	$9,41 \cdot 10^{-3}$	106,23	212,46		
0,85	$3,43 \cdot 10^{-5}$	$7,06 \cdot 10^{-3}$	141,64	283,27		
0,90	$2,29 \cdot 10^{-5}$	$4,71 \cdot 10^{-3}$	212,46	424,91		
0,95	$1,14 \cdot 10^{-5}$	$2,35 \cdot 10^{-3}$	424,91	849,82		
0,99	$2,29 \cdot 10^{-6}$	$4,71 \cdot 10^{-4}$	2124,56	2124,56		

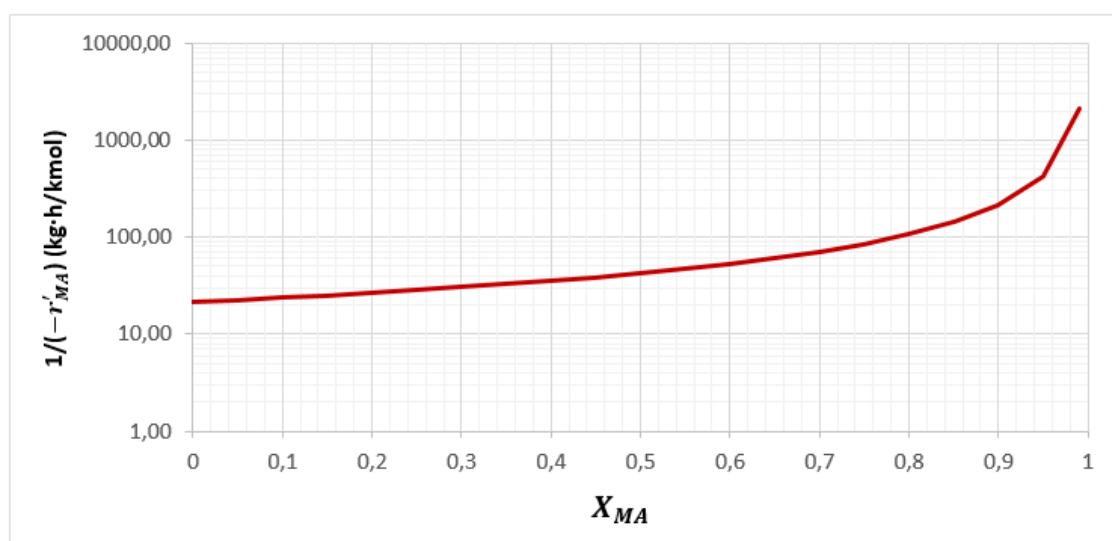


Figura 17. Representación gráfica del cálculo de la masa de catalizador para la hidrogenación de MA.

Por tanto, el volumen del lecho es:

$$V_{lecho} = \frac{W_{cat}}{\rho_{lecho}} \quad (58)$$

Tabla 44. Cálculo del volumen de lecho y del volumen de catalizador

Propiedad	Valor
W_{cat} (kg)	11218,35
V_{lecho} (m ³)	8,63
V_{cat} (m ³)	5,22

La masa de catalizador empleada en la bibliografía es de 8000 kg para un caudal de alimentación similar, por lo que el valor obtenido se ajusta a los datos bibliográficos.

4.3.3. Dimensiones del reactor

Para dimensionar el reactor, se parte de parámetros de reactores experimentales que han sido empleados en los estudios para llevar a cabo esta reacción de forma completa. Generalmente, la relación longitud/diámetro suele estar comprendida entre 0,35 y 0,65, de manera que esa es la base de este diseño.

A partir del volumen de lecho necesario y de la relación anterior, se pueden estimar las dimensiones de la carcasa cilíndrica que contiene al catalizador.

$$D_{lecho} = \left(\frac{4V_{lecho}}{\pi \left(\frac{L_{lecho}}{D_{lecho}} \right)} \right)^{1/3} \quad (59)$$

$$L_{lecho} = \left(\frac{L_{lecho}}{D_{lecho}} \right) D_{lecho} \quad (60)$$

Tabla 45. Dimensiones del lecho catalítico

Propiedad	Valor
L_{lecho}/D_{lecho}	0,42
L_{lecho} (m)	1,25
D_{lecho} (m)	3,00

Por motivos de seguridad y para dejar espacio para la colocación de los elementos internos del reactor, se decide sobredimensionar la carcasa un 30% longitudinalmente manteniendo las mismas dimensiones del lecho catalítico, por lo que las dimensiones totales del reactor son:

Tabla 46. Dimensiones del reactor R-201

Propiedad	Valor
L_R (m)	1,63
D_R (m)	3,00
V_R (m ³)	11,52

La velocidad del gas a la entrada debe ser relativamente baja para evitar el desplazamiento del catalizador, con la consecuente pérdida de rendimiento. Por los datos empleados en los estudios bibliográficos, la velocidad debe ser cercana a los 5 m/s.

Para calcular dicha velocidad, se divide el caudal de entrada por el área de paso del relleno de catalizador:

$$u_{lecho} = \frac{\dot{q}_m}{A_{paso}} \quad (61)$$

$$A_{paso} = \frac{V_{huecos}}{L_{lecho}} = \frac{\varepsilon V_{lecho}}{L_{lecho}} \quad (62)$$

Siendo, en las ecuaciones anteriores:

u_{lecho} = Velocidad de paso del gas por el interior del relleno de catalizador (m/s)

A_{paso} = Área de paso en el lecho catalítico (m²)

V_{huecos} = Volumen de huecos en el lecho catalítico (m³)

Tabla 47. Cálculo de la velocidad de flujo por el lecho catalítico

Propiedad	Valor
\dot{q}_m (m ³ /s)	10,69
A_{paso} (m ²)	2.73
V_{huecos} (m ³)	3.41
u_{lecho} (m/s)	3,96

La velocidad obtenida a la entrada del lecho catalítico es adecuada al acercarse a los valores típicos de los estudios bibliográficos de referencia y suficientemente baja para evitar desplazamiento del catalizador.

4.3.4. Perfiles de temperatura y concentraciones molares en el reactor

El perfil de temperatura en el reactor sirve como estudio de la distribución de la temperatura a lo largo del lecho catalítico, y es una medida indirecta del comportamiento de la reacción. Para un reactor adiabático, la relación entre la temperatura y la conversión de reactivo es:

$$T = T_0 + \frac{(-\Delta H_{Rx})X}{\sum \Theta_i C p_i} \quad (63)$$

Siendo:

T_0 = Temperatura inicial (K)

ΔH_{Rx} = Entalpía de reacción (= -119,6 kJ/mol MA, extraído de la figura 14)

Θ_i = Relación entre el flujo molar de entrada de componente i respecto al flujo molar de entrada del componente de referencia MA:

$$\Theta_i = \frac{F_{io}}{F_{MAo}} \quad (64)$$

La relación entre la conversión y la longitud de lecho catalítico se consigue sustituyendo las ecuaciones 58 y 59 en la ecuación 60:

$$L_{lecho}(X) = \frac{4[W_{BDO}(X) + W_{MA}(X)]}{\pi \rho_{lecho} D^2_{lecho}} \quad (65)$$

Para simplificar los cálculos, se asume en la ecuación 65 que la conversión de cada reactivo es equivalente en cada punto del reactor. Esta suposición es adecuada ya que los dos reactivos entran en proporciones estequiométricas. Las concentraciones molares de cada componente para una conversión dada son:

$$C_{BDO} = [C_{BDO,o}(1 - X)] \quad (66)$$

$$C_{MA} = [C_{MA,o}(1 - X)] \quad (67)$$

$$C_{GBL} = [C_{BDO,o}(X) + C_{MA,o}(X)] + C_{GBL,o} \quad (68)$$

$$C_{H_2O} = [C_{MA,o}(X)] + C_{H_2O,o} \quad (69)$$

Los resultados obtenidos se presentan en las figuras 18 y 19, y los cálculos en la tabla 48:

Tabla 48. Cálculos para las distribuciones de concentración y temperatura en el lecho catalítico

<i>X</i>	<i>C_{MA}</i> (kmol/m ³)	<i>C_{BDO}</i> (kmol/m ³)	<i>C_{GBL}</i> (kmol/m ³)	<i>C_{H₂O}</i> (kmol/m ³)	<i>L_{lecho}</i> (m)	<i>T</i> (°C)
0	2,29·10 ⁻⁴	3,43·10 ⁻⁴	1,15·10 ⁻⁶	9,53·10 ⁻⁶	0	245,00
0,05	2,17·10 ⁻⁴	3,26·10 ⁻⁴	5,69·10 ⁻⁵	3,18·10 ⁻⁵	0,011	246,29
0,10	2,06·10 ⁻⁴	3,09·10 ⁻⁴	1,10·10 ⁻⁴	5,30·10 ⁻⁵	0,022	247,57
0,15	1,94·10 ⁻⁴	2,92·10 ⁻⁴	1,60·10 ⁻⁴	7,30·10 ⁻⁵	0,034	248,85
0,20	1,83·10 ⁻⁴	2,74·10 ⁻⁴	2,07·10 ⁻⁴	9,19·10 ⁻⁵	0,047	250,13
0,25	1,72·10 ⁻⁴	2,57·10 ⁻⁴	2,51·10 ⁻⁴	1,10·10 ⁻⁴	0,061	251,41
0,30	1,60·10 ⁻⁴	2,40·10 ⁻⁴	2,93·10 ⁻⁴	1,26·10 ⁻⁴	0,076	252,69
0,35	1,49·10 ⁻⁴	2,23·10 ⁻⁴	3,31·10 ⁻⁴	1,42·10 ⁻⁴	0,092	253,97
0,40	1,37·10 ⁻⁴	2,06·10 ⁻⁴	3,67·10 ⁻⁴	1,56·10 ⁻⁴	0,109	255,26
0,45	1,26·10 ⁻⁴	1,89·10 ⁻⁴	4,00·10 ⁻⁴	1,69·10 ⁻⁴	0,127	256,54
0,50	1,14·10 ⁻⁴	1,72·10 ⁻⁴	4,30·10 ⁻⁴	1,81·10 ⁻⁴	0,148	257,82
0,55	1,03·10 ⁻⁴	1,54·10 ⁻⁴	4,57·10 ⁻⁴	1,92·10 ⁻⁴	0,171	259,10
0,60	9,15·10 ⁻⁵	1,37·10 ⁻⁴	4,81·10 ⁻⁴	2,02·10 ⁻⁴	0,197	260,38
0,65	8,00·10 ⁻⁵	1,20·10 ⁻⁴	5,03·10 ⁻⁴	2,10·10 ⁻⁴	0,226	261,66
0,70	6,86·10 ⁻⁵	1,03·10 ⁻⁴	5,21·10 ⁻⁴	2,18·10 ⁻⁴	0,260	262,94
0,75	5,72·10 ⁻⁵	8,58·10 ⁻⁵	5,37·10 ⁻⁴	2,24·10 ⁻⁴	0,301	264,22
0,80	4,57·10 ⁻⁵	6,86·10 ⁻⁵	5,50·10 ⁻⁴	2,29·10 ⁻⁴	0,353	265,51
0,85	3,43·10 ⁻⁵	5,15·10 ⁻⁵	5,60·10 ⁻⁴	2,33·10 ⁻⁴	0,422	266,79
0,90	2,29·10 ⁻⁵	3,43·10 ⁻⁵	5,67·10 ⁻⁴	2,36·10 ⁻⁴	0,524	268,07
0,95	1,14·10 ⁻⁵	1,72·10 ⁻⁵	5,71·10 ⁻⁴	2,38·10 ⁻⁴	0,729	269,35
0,99	2,29·10 ⁻⁶	3,43·10 ⁻⁶	5,73·10 ⁻⁴	2,38·10 ⁻⁴	1,249	270,08

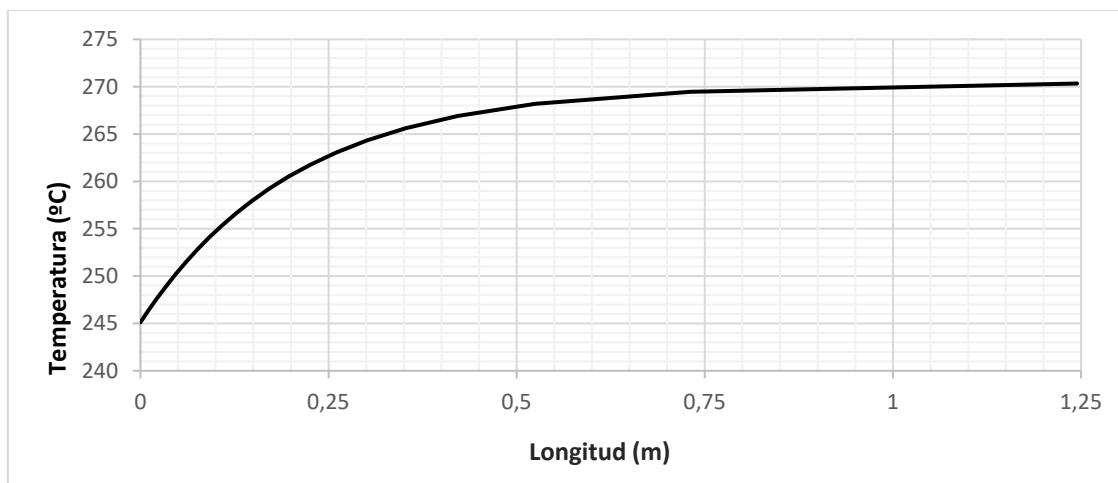


Figura 18. Perfil de temperaturas en el lecho catalítico del reactor R-201

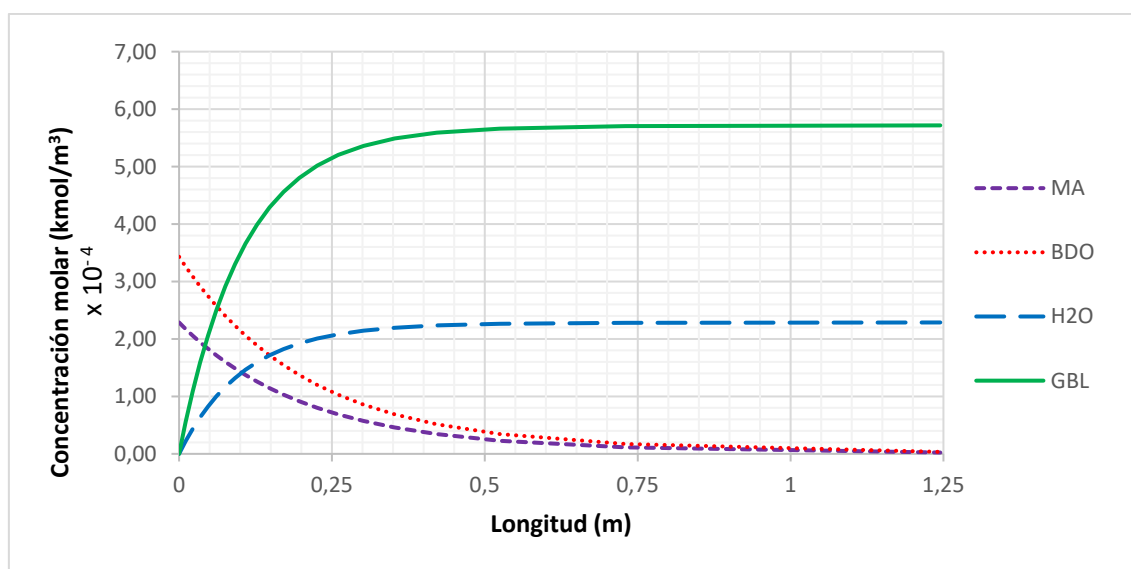


Figura 19. Perfil de concentraciones molares en el lecho catalítico del reactor R-201

Comparando los resultados de este proyecto con estudios similares, se obtienen perfiles muy semejantes. La temperatura final alcanzada coincide además con la obtenida mediante el balance de energía, en el Anexo I. Balances de materia y energía, apartado 2.6.

4.4. Diseño mecánico del equipo

4.4.1. Elección de material

El material empleado para la fabricación de la carcasa del reactor R-201 es el acero de baja aleación modelo SA-372 Grado J Clase 70. Las razones son idénticas a las explicadas para la elección de este material en el tanque de mezcla V-101, apartado 3.2. Además, el aumento de temperatura debido a la reacción química no es suficientemente elevado como para disminuir de forma significativa sus propiedades mecánicas.

4.4.2. Caída de presión en el lecho catalítico

Para calcular la caída de presión que se produce en un fluido que circula por el interior de un lecho fijo, se emplea la ecuación de *Ergun*:

$$\frac{\Delta P}{L_{lecho}} = \frac{150\mu(1-\varepsilon)^2 u}{d_p^2} + \frac{1,75u^2(1-\varepsilon)\rho}{d_p \varepsilon^3} \quad (70)$$

Siendo:

$\frac{\Delta P}{L_{lecho}}$ = Caída de presión por longitud de lecho (Pa/m)

d_p = Diámetro de la partícula de relleno (m).

Como en este caso se disponen de partículas cilíndricas, se debe realizar una estimación del diámetro para emplear en la ecuación de Ergun. Según la bibliografía, para partículas cilíndricas cuya relación entre el diámetro y la altura sea menor que 2, d_p se calcula como:

$$d_p = 1,5 \cdot d_{pc} \quad (71)$$

En donde d_{pc} es el diámetro de la partícula cilíndrica en metros.

Para calcular las propiedades del fluido, y dado que hay reacción química, se emplean las propiedades medias entre el fluido de entrada y el fluido de salida, obtenidos del balance de materia y energía:

Tabla 49. Propiedades de las corrientes de entrada y salida al reactor R-201

Propiedad	Entrada	Media	Salida
T (°C)	245,0	257,6	270,2
ρ (kg/m ³)	0,1223	0,1185	0,1148
μ (kg/m · s)	$1,36 \cdot 10^{-5}$	$1,39 \cdot 10^{-5}$	$1,41 \cdot 10^{-5}$
u (m/s)	3,96	4,04	4,12

El resultado de aplicar la ecuación 70 se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 50. Cálculo de las pérdidas de presión de la corriente por el lecho catalítico

Parámetro	Salida
$\Delta P/L_{lecho}$ (Pa/m)	6014
ΔP (bar)	0,08

La caída de presión es pequeña a pesar del relleno de catalizador. Esto es debido a la relación entre la longitud y el diámetro escogida para el diseño del lecho.

4.4.3. Temperatura y presión de diseño

Empleando las ecuaciones 29 y 31 se puede obtener la temperatura y presión de diseño del reactor a partir de las condiciones de operación, que se establecen como las más elevadas dentro del equipo.

Tabla 51. Temperatura y presión de diseño en el reactor R-201

Propiedad	Valor
\hat{T}_{op} (°C)	270,22
\hat{T}_{dis} (°C)	297,99
$P_{op,g}$ (bar)	0,50
P_{dis} (bar)	2,24

4.4.4. Espesor de la carcasa

Aplicando el código ASME BPV S.VIII Div. 1 para recipientes a presión, se calculan los espesores mínimos requeridos para que el reactor soporte las cargas radiales y longitudinales empleando las ecuaciones 34 y 35, aplicándoles el factor de corrosión de la tabla 29 y factor de cargas de peso de la tabla 30. Los resultados se muestran en la tabla 52.

La junta de unión es un empalme con doble soldadura y un grado de examen radiográfico completo, pues se considera que el reactor es una de las zonas críticas de la planta. Según estipula el código, las revisiones deberían de ser anuales y, de detectarse una anomalía, solucionarla en los siguientes seis meses tras su detección.

Tabla 52. Cálculo de los espesores mínimos según esfuerzos radial y longitudinal

Parámetro	Valor
E (%)	100
t_{rad} (mm)	0,4
t_{long} (mm)	0,2
Corrosión (mm)	4
t_R (mm)	12
t_R estándar (mm)	12,7

4.4.5. Elección de cabezales: dimensionamiento y espesores

El cabezal superior empleado es un cabezal toricónico (Figura 20) de transición entre la tubería adyacente de entrada de los gases y el propio reactor R-201.

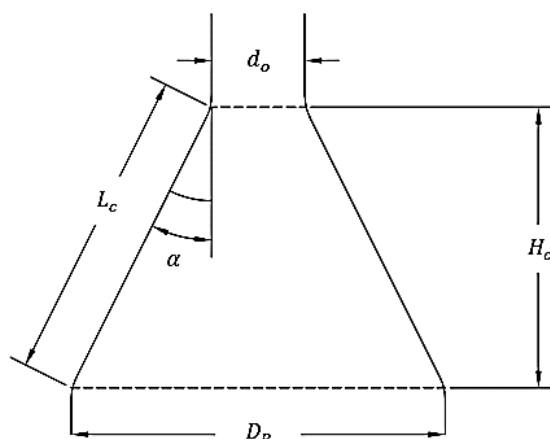


Figura 20. Esquema del cabezal toricónico. (Elaboración propia)

En la figura anterior, L_c es el largo del cabezal, H_c es la altura del cabezal, d_o y D_R son los diámetros internos de la tubería adyacente y el reactor, respectivamente, y α es el ángulo de apertura en grados.

La razón principal en la elección de dicho cabezal es asegurar una buena distribución de los gases en el lecho catalítico, provocando además una reducción progresiva de la velocidad de entrada al aumentar el diámetro gradualmente.

El dimensionamiento del cabezal se realiza aplicando las normativas ASME Sección VIII División 1 y ASCE 7-95, en los que se establece que el ángulo de apertura no debe ser mayor que 30° . Para evitar una altura de cabezal excesiva, se decide emplear un ángulo de 30° , el máximo permitido. De esta manera, empleando geometría triangular y un espesor de la tubería estándar seleccionada igual al espesor de carcasa del reactor, se obtienen el resto de parámetros:

$$L_c = \frac{(D_R - d_o)}{2 \sin(\alpha)} \quad (72)$$

$$H_c = L_c \cos(\alpha) \quad (73)$$

$$t_c = \frac{P_{dis} D_i}{2 \cos(\alpha) (S_{máx} E - 0,6 P_{dis})} \quad (74)$$

Los resultados se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 53. Parámetros de diseño del cabezal toricónico superior

Parámetro	Valor
α ($^\circ$)	30
D_R (m)	3,00
Tubería estándar	36'' Sch. 80S
d_o (m)	0,89
$u_{tubería}$ (m/s)	17,22
L_c (m)	2,07
H_c (m)	1,79
Corrosión (mm)	4
t_{tc} (mm)	4,4
t_{tc} estándar (mm)	12,7

El espesor mínimo requerido para el cabezal toricónico t_{tc} es de 4,4 mm, por lo que se va a emplear el mismo espesor que la carcasa del reactor y que la tubería adyacente para mantener el mismo criterio. Finalmente, se calculan las dimensiones superficial exterior y volumétrica:

$$A_c = \pi (D_R + d_o) \sqrt{(D_R - d_o)^2 + H_c^2} \quad (75)$$

$$V_c = \frac{1}{3} \pi (D_R^2 + D_R d_o + d_o^2) H_c \quad (76)$$

Tabla 54. Dimensiones del cabezal toricónico superior

Parámetro	Valor
$A_c \text{ (m}^2\text{)}$	11,99
$V_c \text{ (m}^3\text{)}$	7,07

El cabezal inferior es un cabezal toriesférico ya que, ateniéndose a los datos de la tabla 32, es el más económico a bajas presiones. El espesor mínimo y estándar escogido, así como las dimensiones de altura H_T , área superficial A_T y volumen V_T , se detallan en la tabla 55, aplicando las ecuaciones siguientes:

$$H_T = 0,169 (D_R + 2t_R) \quad (77)$$

$$A_T = 0,931D_R \quad (78)$$

$$V_T = 0,08089 (D_R + 2t_R)^3 \quad (79)$$

Tabla 55. Dimensiones del cabezal toriesférico inferior

Parámetro	Valor
Corrosión (mm)	4
$t_T \text{ (mm)}$	4,4
$t_T \text{ estándar (mm)}$	12,7
$H_T \text{ (m)}$	0,51
$A_T \text{ (m}^2\text{)}$	8,18
$V_T \text{ (m}^3\text{)}$	2,16

4.4.6. Estudio del comportamiento adiabático

En este apartado se comprueban las pérdidas caloríficas del reactor R-201 y si es necesario el empleo de un aislante. Para ello se aplica la ecuación 37 adaptada para el reactor considerando también la transmisión de calor por conducción que se produce en el catalizador.

$$\dot{Q}_t = \frac{T_{\infty,i} - T_{\infty,e}}{\left(\frac{1}{\left(\frac{1}{h_i \pi D_R L_{lecho}} \right)^{-1} + \left(\frac{1}{2k_{cat} \pi L_{lecho}} \right)^{-1}} \right) + \frac{\ln((D_R + 2t_R)/D_R)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_e \pi (D_R + 2t_R) L_{lecho}}} \quad (80)$$

Siendo k_{cat} en la ecuación anterior la conductividad térmica del catalizador en W/mk, obtenido de la bibliografía. Se considera, además, que la transmisión de calor se produce a lo largo de todo el lecho catalítico, y que el calor por conducción está en paralelo al calor de convección del gas.

Los datos de temperatura exterior y coeficientes de convección son análogos a los empleados en el apartado 3.3.4 de este mismo anexo.

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 56.

Tabla 56. Estudio del carácter adiabático del reactor R-201

Propiedad	Valor
$T_{\infty,i}$ (°C)	257,6
$T_{\infty,e}$ (°C)	5,6
h_i (W/m ² K)	100
h_e (W/m ² K)	15
k_{cat} (W/mK)	33
\dot{Q}_t (kW)	39,93
\dot{Q}_R (kW)	292,36
T salida (°C)	266,9

Se comprueba que se disipa hasta un 13,5% del calor generado en el reactor, y es por ello que los gases salen a una menor temperatura. Bajo estas condiciones, y desde el punto de vista de la reacción química, no se considera que sea necesario aplicar un aislante pues la reacción se completa desde los 240 hasta los 300°C con los resultados que se desean. Además, al tener que enfriar posteriormente los gases de salida, una menor temperatura supondría un ahorro energético considerable.

No obstante, una posible aunque improbable reacción descontrolada de hidrogenación de MA, muy exotérmica, puede provocar un incremento de la temperatura interior con la consecuente elevada temperatura superficial exterior del reactor al no estar aislada. Dicha superficie puede emitir suficiente radiación como para afectar a los equipos colindantes e incluso a los operarios. Es una situación límite, donde tienen que fallar muchos sistemas de seguridad, pero se decide emplear un elemento de seguridad a mayores en forma de capa de aislante para evitar esta situación comprometida y facilitar el acceso a las válvulas de seguridad a los trabajadores.

La capa de aislante está formada por 1'' de fibra de cristal *Owens* modelo *L1*. Aplicando de nuevo la ecuación 80 añadiéndole la capa de aislante, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 57. Cálculo del calor intercambiado al aplicar la capa de aislante al reactor R-201

Propiedad	Valor
\dot{Q}_t (kW)	13,65
T salida (°C)	269,1

En este caso, la temperatura de gases de salida es apenas 1°C menor que la supuesta para los cálculos de diseño, por lo que se considera situación adiabática. Para comprobar el efecto del aislante, se calculan las temperaturas de la superficie interna del reactor $T_{S,i}$, de la superficie externa del reactor $T_{S,e}$ y de la superficie de la capa de aislante exterior $T_{S,a}$ en el punto medio longitudinal del lecho catalítico $L = L_{Lecho}/2$:

Tabla 58. Temperaturas internas y externas del reactor R-201 en el punto medio aplicando la capa de aislante

Propiedad	Valor
$T_{S,i}$ (°C)	247,07
$T_{S,e}$ (°C)	246,73
$T_{S,a}$ (°C)	78,42

Como se puede observar, la temperatura externa del reactor R-201 se reduce considerablemente al emplear el aislante, logrando el efecto deseado.

Por último, se realiza un estudio de la distribución de temperaturas en que permite obtener la temperatura para cada punto radial intermedio del material del reactor R-201:

$$T(R) = \begin{cases} \frac{T_{S,i} - T_{S,e}}{\ln\left(\frac{R_{R,i}}{R_{R,e}}\right)} \cdot \ln\left(\frac{R}{R_{R,e}}\right) + T_{S,e} & \text{si } R_{R,i} < R \leq R_{R,e} \\ \frac{T_{S,e} - T_{S,a}}{\ln\left(\frac{R_{R,e}}{R_{R,a}}\right)} \cdot \ln\left(\frac{R}{R_{R,a}}\right) + T_{S,a} & \text{si } R_{R,e} < R \leq R_{R,a} \end{cases} \quad (81)$$

Siendo $R_{R,i}$ el radio interno del reactor, $R_{R,e}$ el radio externo del reactor y $R_{R,a}$ el radio externo del reactor con aislante, todo en metros.

Tabla 59. Distribución de temperaturas en dirección radial en el punto medio del reactor R-201

R	T (R)
1,500 ($R_{R,i}$)	247,07
1,503	247,00
1,505	246,89
1,509	246,81
1,513 ($R_{R,e}$)	246,73
1,518	214,24
1,523	180,60
1,528	147,07
1,533	113,65
1,538 ($R_{R,a}$)	78,42

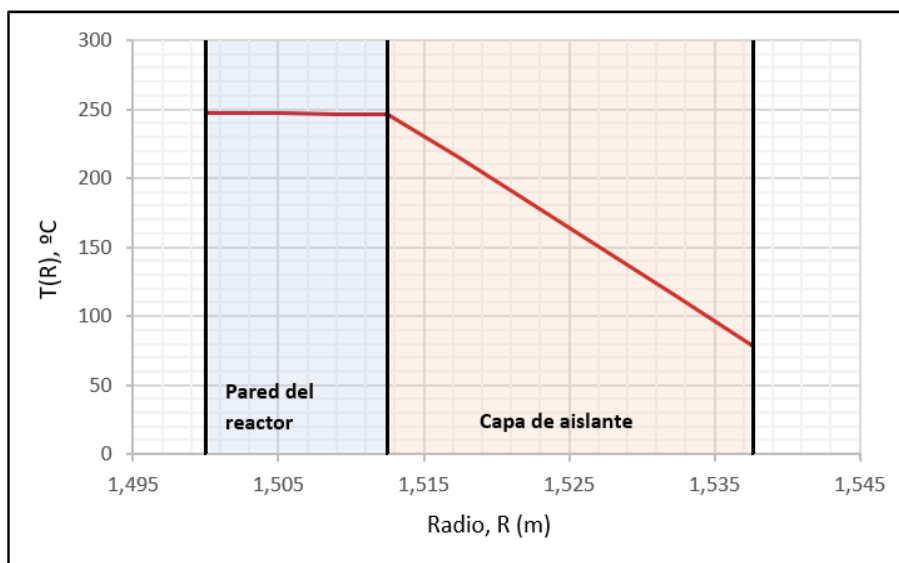


Figura 21. Gráfica de la distribución de temperaturas en dirección radial del reactor R-201

4.4.7. Elección de orientación y soporte

El reactor R-201 se orienta verticalmente. La principal razón es que permite una limpieza y recambio del catalizador más fáciles, aparte de requerir menos espacio en la planta.

El soporte del reactor es de falda cónico, para soportar mejor las cargas por peso, tanto del propio recipiente como de las toneladas de catalizador presentes en su interior, calculadas en el apartado 4.4.9.

4.4.8. Elementos internos

4.4.8.1. Rejilla de soporte

Un elemento interno importante es la rejilla de soporte del lecho catalítico, que es básicamente un plato plano con cortes diametrales que recubre todo el diámetro del recipiente y que permite el paso del gas a la vez que soporta el peso del catalizador. Se suelen elegir por catálogo.

En este proyecto, se decide emplear una rejilla comercial de la marca *Delta Screens*, puesto que las fabrican por encargo con dimensiones específicas ajustadas a cada reactor en particular.

4.4.8.2. Válvula de alivio PSV/204

La válvula de alivio PSV/204 se emplea para evitar situaciones de sobrepresión en el reactor y evitar una potencial explosión en el sistema. Se diseña conforme la norma API 520 relativa al dimensionamiento, selección e instalación de dispositivos de alivio.

El primer paso para dimensionar la válvula de alivio determinar cuál es la presión de flujo crítico que determina el flujo máximo de vapores a través de la boquilla u orificio de salida de la válvula. La expresión de su cálculo es la siguiente:

$$\frac{P_{cf}}{P_1} = \left[\frac{2}{k+1} \right]^{\frac{k}{k-1}} \quad (82)$$

Siendo:

P_{cf} : Presión de flujo crítico (kPa)

P_1 : Presión de tarado a la cual empieza a ascender la válvula de seguridad. Se considera un 5% mayor que la presión de operación (kPa)

k : Relación de calores específicos a las condiciones de entrada

El parámetro k para gases ideales es igual a 1,4, y dado que la proporción de hidrógeno en la mezcla es elevada, puede suponerse como tal. Analizando con el simulador Hysys, el valor real es de 1,362, por lo que la aproximación es adecuada. En la tabla 60 se muestran los resultados del cálculo de la presión crítica.

Tabla 60. Cálculo de la presión de flujo crítica

Parámetro	Valor
P_1 (kPa)	157,5
P_{cf} (kPa)	83,2

Dado que la presión de flujo crítico es inferior a la presión de operación (propio de los sistemas de alivio diseñados para operar a bajas presiones), se considera una situación de flujo subcrítico. La expresión para el cálculo del área de alivio necesaria en flujo subcrítico es la siguiente:

$$A = \frac{17,9W}{F_2 K_d K_c} \sqrt{\frac{ZT}{MP_1(P_1 - P_2)}} \quad (83)$$

Siendo:

A : Área efectiva de orificio requerida para el alivio de la presión (mm^2)

W : Caudal de alivio a través de la válvula (kg/h). Se considera para este diseño un caudal de alivio suficiente para el vaciado completo del reactor en un tiempo de 1 minuto, en el caso de producirse obstrucción en el paso de la corriente:

$$W = 60(V_R - V_{cat})\rho \quad (84)$$

F_2 : Factor relativo al flujo subcrítico, cuyo valor se calcula mediante la relación de presiones P_2/P_1 empleando la figura 22:

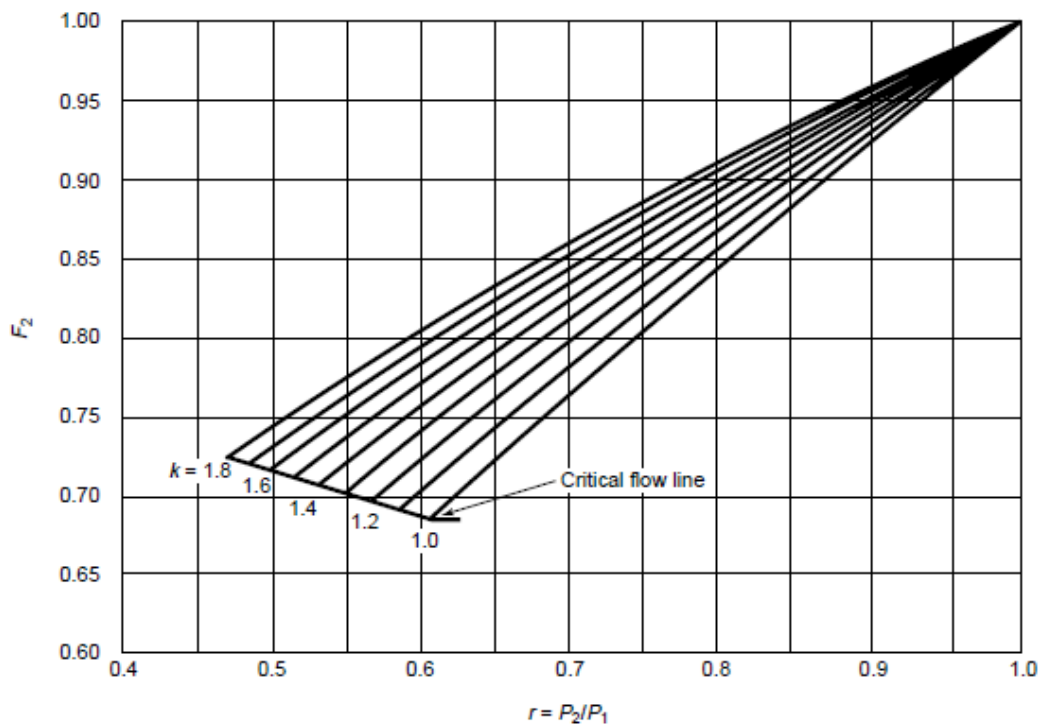


Figura 22. Determinación del factor F_2 (American Petroleum Institute, 2000)

K_d : Coeficiente de descarga, que presenta un valor de 0,975 en el dimensionamiento de válvulas de alivio, con o sin disco de ruptura.

K_c : Factor de corrección combinado para instalaciones que presentan un disco de ruptura previo a una válvula de alivio. Como la corriente es corrosiva, se considera apropiado el uso de un disco de ruptura que proteja la válvula. El factor para este escenario es de 0,9.

Z : Factor de compresibilidad del gas, que indica la desviación de las propiedades respecto a un comportamiento ideal. Como se opera a bajas presiones, se asume comportamiento ideal y un valor igual a 1

T : Temperatura de la corriente de alivio, considerada como la temperatura de operación (K)

M : Peso molecular medio del gas (g/mol)

P_2 : Presión de descarga, que se establece como 1 bar

Los datos empleados en el dimensionamiento y los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 61. Cálculo del área efectiva de orificio de la válvula PV/204

Parámetro	Valor
P_1 (kPa)	157,5
P_2 (kPa)	100
ρ (kg/m ³)	0,081
W (kg/h)	6,15
F_2	0,78
T (K)	518
M (g/mol)	3,52
K_d	0,975
K_c	0,9
A (mm ²)	102,5

La selección de la válvula de alivio se realiza según la norma API 526 de selección y dimensionamiento de válvulas con brida. Los parámetros de selección son el área del orificio, la presión de descarga y el caudal máximo permitido de escape.

Para los datos obtenidos en la tabla 61, se requiere una válvula de alivio tipo D con un tamaño de orificio estándar de 154 mm².

4.4.9. Análisis de cargas y tensiones

El recipiente cilíndrico que conforma la estructura del reactor R-201 debe estar diseñado para poder soportar, sin llegar al fallo, las cargas y tensiones a las que es susceptible, tanto las asociadas al proceso como las externas.

El estudio de las cargas y tensiones se realiza para una situación en la que se presente la peor combinación de esfuerzos posible. Como criterio de diseño, se estudia la situación en que la columna esté sometida a esfuerzos por:

- Peso de la estructura, del catalizador, del aislante, de los cabezales y de los elementos internos.
- Presión interna

A. Peso de la estructura

El peso muerto de un recipiente cilíndrico se obtiene mediante la correlación empírica siguiente:

$$W_v = C_w \pi \rho_m D_m g (H_v + 0,8 D_m) t \quad (85)$$

Siendo:

W_v = Peso muerto del recipiente (N).

C_w = Factor asociado al peso de los elementos internos, que se toma como 1,15.

D_m = Diámetro medio del recipiente, que se toma como la suma del diámetro interno y el espesor (m).

ρ_m = Densidad del material (kg/m³)

g = Aceleración de la gravedad, 9,81 m²/s

$H_v = L_R$ = Altura del reactor (m).

Tabla 62. Cálculo del peso de la estructura del reactor R-201

Parámetro	Valor
D_m (m)	3,00
ρ_m (kg/m ³)	7800
t (mm)	12,7
H_v (m)	1,63
W_v (kN)	42,4

B. Peso del relleno

El peso del relleno en kN se obtiene multiplicando el peso necesario por la acción de la gravedad:

Tabla 63. Cálculo del peso del catalizador

Parámetro	Valor
W_{cat} (kN)	110,05

C. Peso del aislante

El cálculo del peso de aislante se realiza mediante la siguiente expresión:

$$W_{aisl} = \pi L_R (D_i + 2t) t_{aisl} \rho_{aisl} \quad (86)$$

En donde:

W_{aisl} = Peso del aislante (N)

ρ_{aisl} = Densidad del aislante, extraído de la ficha técnica (kg/m³).

Tabla 64. Cálculo del peso del aislante

Parámetro	Valor
ρ_{aisl} (kg/m ³)	16,02
t_{aisl} (mm)	25,4
W_{aisl} (kN)	0,06

Como se puede comprobar, el peso ejercido por el aislante es despreciable y no se considera para futuros cálculos.

D. *Peso de los elementos internos*

Para calcular el peso aproximado de los elementos internos, se aplican las mismas consideraciones que a los platos en las columnas de platos. El peso del soporte de catalizador W_{int} en kN se calcula de manera aproximada como:

$$W_{int} = 1,2A_{int} = 1,2 \frac{\pi D_R^2}{4} \quad (86)$$

Siendo A_{int} el área superficial en m², que se considera equivalente al área tangente interna del reactor.

Tabla 65. Cálculo del peso de los elementos internos

Parámetro	Valor
A_{int} (m ²)	0,07
W_{int} (kN)	8,42

Una vez calculadas todas las cargas por peso, se determinan los esfuerzos a los que está sometido el reactor.

Para el esfuerzo por peso, se aplica la siguiente expresión:

$$\sigma_w = \frac{W_v}{\pi(D_i + t)t} \quad (87)$$

Siendo:

σ_w = Esfuerzo por peso muerto del recipiente (N/mm²)

W_v = Suma de las cargas por peso (relleno, recipiente, elementos internos...) (N)

Tabla 66. Cálculo de las cargas por peso

Parámetro	Valor
W_v (N)	160870
σ_w (N/mm ²)	1,33

Los esfuerzos longitudinal y horizontal por presión interna se calculan como:

$$\sigma_H = \frac{PD_i}{2t} \quad (88)$$

$$\sigma_L = \frac{PD_i}{4t} \quad (89)$$

Tabla 67. Cálculo de las cargas por presión interna

Parámetro	Valor
σ_H (N/mm ²)	26,46
σ_L (N/mm ²)	13,23

El esfuerzo total longitudinal es la suma del esfuerzo por cargas de peso y por presión interna. No obstante, como el esfuerzo por peso es por compresión, el valor es negativo:

$$\sigma_{L,total} = \sigma_L - \sigma_w \quad (90)$$

Por lo tanto, los esfuerzos totales a los que somete el reactor R-201 se muestran en la tabla 68:

Tabla 68. Cálculo de las cargas por presión interna

Parámetro	Valor
$\sigma_{H,total}$ (N/mm ²)	26,46
$\sigma_{L,total}$ (N/mm ²)	11,90
σ_{total} (N/mm ²)	14,56

Predomina un esfuerzo por tensión de 14,56 N/mm², muy por debajo del máximo admisible en el diseño, que es de 827 N/mm².

4.5. Resumen del diseño del reactor R-201

En base a los criterios, cálculos y consideraciones en el diseño del reactor R-201, se muestra en la tabla 69 un resumen con las principales características:

Tabla 69. Detalles de diseño del tanque de mezcla V-105

Reactor R-201	
Tipo	Catalítico de lecho fijo adiabático
Material carcasa	AISI SA-372 Gr. J C.70
Orientación	Vertical
Cabezal superior	Toricónico
Cabezal inferior	Toriesférico
Soporte	Soporte de falda cónico
<i>Dimensiones carcasa</i>	
Longitud (m)	1,63
Diámetro interno (m)	3,00
Espesor estándar (mm)	12,7
<i>Lecho catalítico</i>	
Tipo catalizador	Pastillas cilíndricas de Cu-ZnO-Al ₂ O ₃
Modelo comercial	INS Pulawy TMC-3/1
Masa empleada (kg)	11.218
Volumen del lecho (m³)	8,63
Plato soporte comercial	Delta Screens Grid Supports
<i>Aislante</i>	
Material aislante	Fibra de vidrio sintética
Modelo comercial	Owens Fiberglas
Capa aislante	1" modelo L1

5. Condensador E-301

El condensador E-301 es un intercambiador de carcasa y tubos que se emplea para separar los gases de salida del reactor a partir de los diferentes puntos de condensación de los compuestos. Para ello, la mezcla de gases se enfría y se produce la condensación parcial de GBL y del vapor de agua, saliendo el hidrógeno, no condensable, por la parte superior.

El líquido se va depositando progresivamente en un recipiente situado debajo del condensador mediante unas boquillas instaladas en la parte inferior de la carcasa. El recipiente tiene cierta inclinación que provoca que el líquido fluya hacia un tanque vertical, denominado tanque V-302, que sirve para homogenizar la mezcla líquida.

Un esquema de todo el conjunto que representa el condensador E-301 se muestra a continuación:

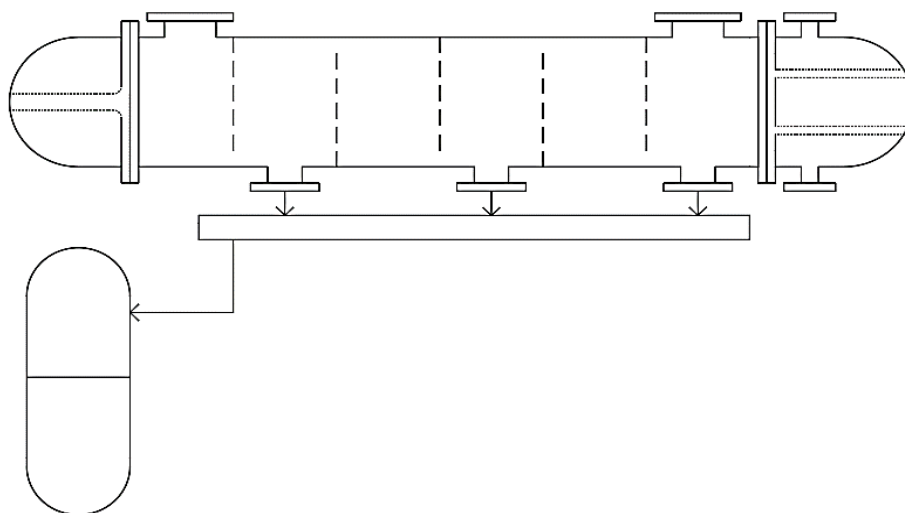


Figura 23. Esquema del condensador E-301 junto al recipiente recolector y el tanque de homogenización (Elaboración propia)

5.1. Criterios específicos de diseño

Los principios empleados para el diseño del condensador de carcasa y tubos son semejantes a los del diseño de los evaporadores E-101 y E-102, con ciertas modificaciones. La bibliografía presenta un algoritmo que resume el método iterativo de diseño de los intercambiadores de calor de carcasa y tubos, y que se representa en la figura 28. Este algoritmo es el empleado también para diseñar los intercambiadores E302 y E-401.

En los siguientes subapartados se detallan las consideraciones específicas del diseño de un intercambiador de carcasa y tubos, en comparación a las vistas en el diseño de los evaporadores.

5.1.1 Factor de corrección de la diferencia de temperatura

En un intercambiador de carcasa y tubos, se emplea un factor de corrección F en el cálculo de la diferencia de temperatura media logarítmica, ecuación 5, de manera que:

$$\Delta T_{ml} = F \left[\frac{(T_{c,e} - T_{f,s}) - (T_{c,s} - T_{f,e})}{\ln \left(\frac{T_{c,e} - T_{f,s}}{T_{c,s} - T_{f,e}} \right)} \right] \quad (91)$$

El valor de F es función de dos parámetros característicos, R y S , obtenidos mediante las ecuaciones 92 y 93 en flujo a contracorriente:

$$R = \frac{T_{c,e} - T_{c,s}}{T_{f,s} - T_{f,e}} \quad (92)$$

$$S = \frac{T_{f,s} - T_{f,e}}{T_{c,e} - T_{f,e}} \quad (93)$$

Empleando los parámetros anteriores, y si el intercambiador es de un solo paso por carcasa y cualquier múltiplo par de paso por tubo, el valor de F se obtiene mediante la figura 24.

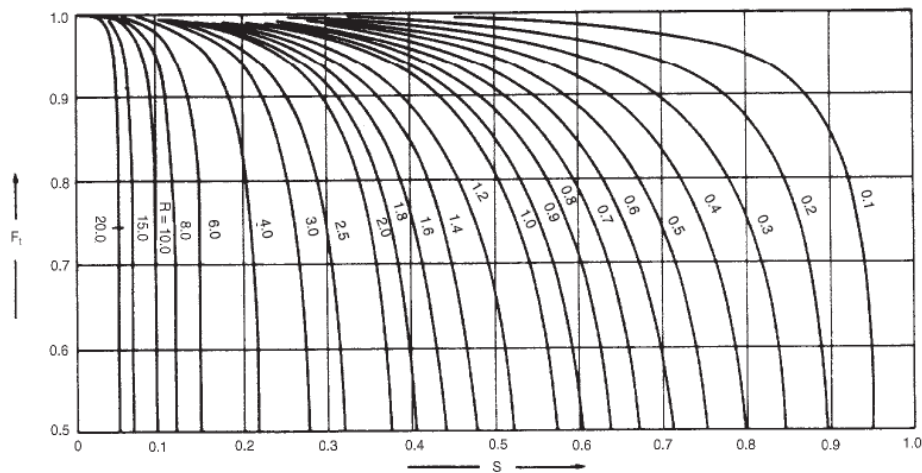


Figura 24. Determinación del factor F (Sinnott, 2005)

5.1.2. Baffles internos en la carcasa

Otra diferencia respecto a los evaporadores reside en el empleo de baffles internos de la carcasa, que son chapas perforadas que soportan los tubos e inducen turbulencia en el fluido que circula externo a los tubos, mejorando la transmisión de calor.

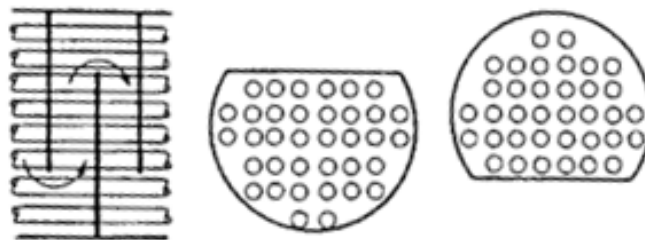


Figura 25. Baffles internos de segmento único (Sinnott, 2005)

Para este condensador, se emplean baffles de segmento único (Figura 25), pues son los más comunes, y con un porcentaje de corte de 25%, lo que indica que el área de paso del fluido de carcasa es de un 25% del área transversal total de la carcasa.

La caída de presión del fluido por carcasa empleando este tipo de baffles es:

$$\Delta P = 8j_{f,s} \left(\frac{D_s}{d_h} \right) \left(\frac{L}{l_B} \right) \frac{\rho u_s^2}{2} \cdot 10^{-5} \quad (94)$$

En donde:

$j_{f,s}$ = Factor de fricción adimensional para la carcasa, extraído de la figura 26 en función del % de corte de la carcasa.

D_s = Diámetro de la carcasa (m)

d_h = Diámetro hidráulico equivalente de la carcasa (m), que es función de la dimensión de los tubos y su disposición. Para un pitch triangular:

$$d_h = \frac{1,1 (p_t^2 - 0,917d_e)}{d_e} \quad (95)$$

l_B = Separación entre placas deflectoras (m), cuyo valor se suele calcular como:

$$l_B = C D_s \quad (96)$$

Siendo C un valor comprendido entre 0,2 y 1.

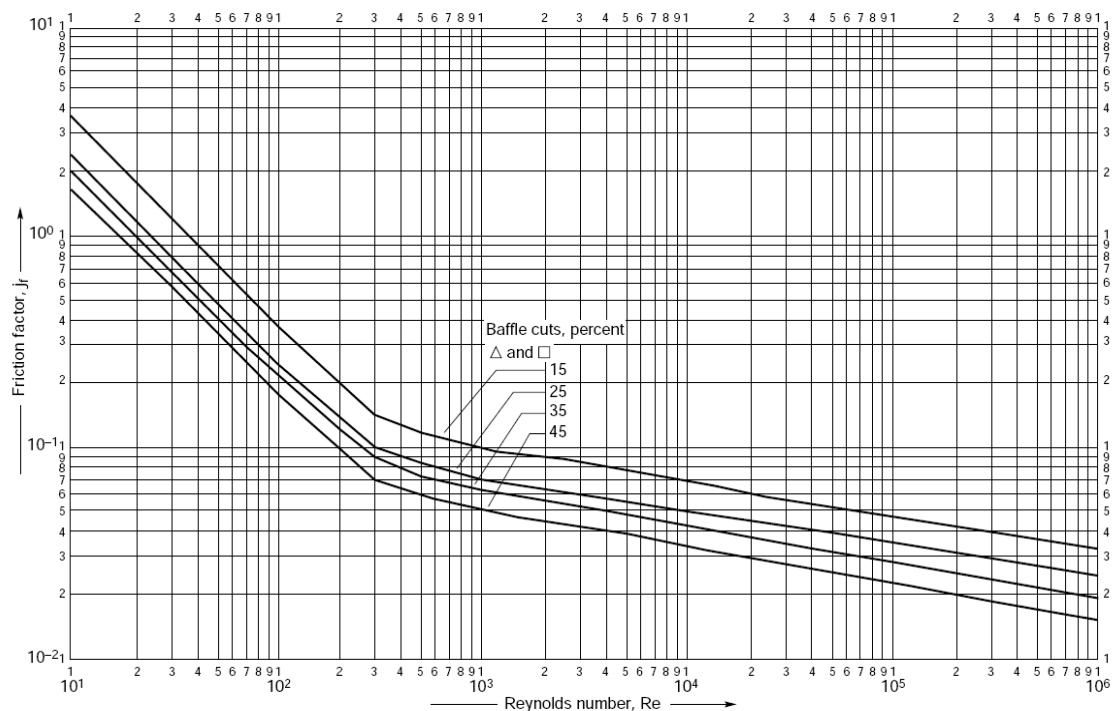


Figura 26. Estimación del factor j_f (Sinnott, 2005)

5.1.3. Coeficientes de convección interno y externo

En el condensador, el fluido refrigerante va por los tubos y el vapor que condensa por la carcasa.

Para el cálculo del coeficiente de convección interno se emplea la ecuación siguiente:

$$h_i = \left(\frac{Nu \cdot k}{d_i} \right) \quad (97)$$

Siendo:

$$Nu = j_h \cdot Re \cdot Pr^{0,33} \quad (98)$$

Que es conocido como el número de Nusselt. El factor j_h es un corrector adimensional del cálculo para flujo turbulento, que es función de Re y se puede obtener a partir de la figura 27.

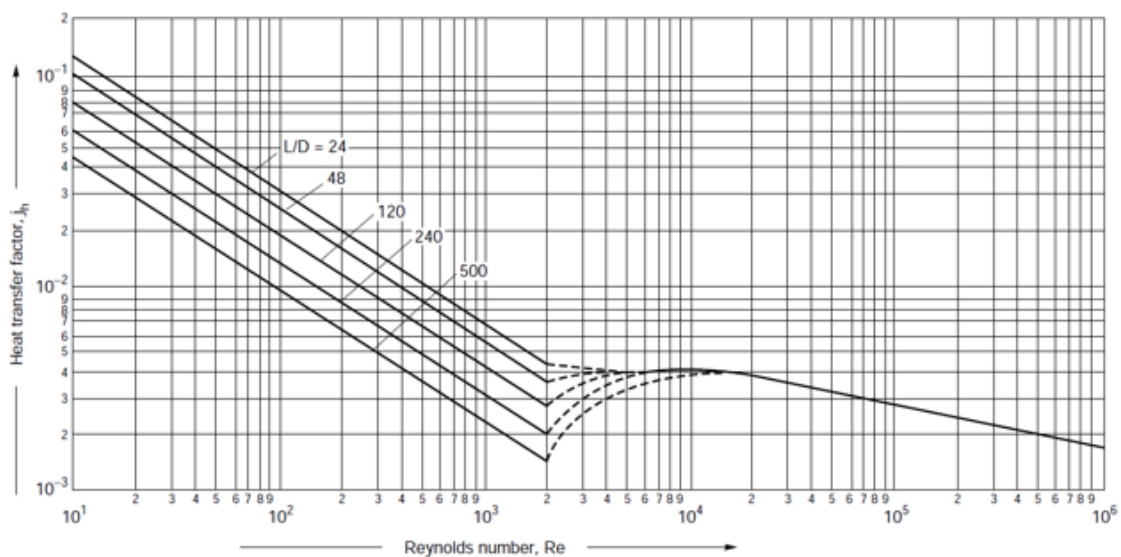


Figura 27. Estimación del factor j_h (Sinnott, 2005)

La principal complicación del diseño del condensador radica en el cálculo del coeficiente de convección externo, pues para la condensación de una mezcla de un hidrocarburo, vapor de agua y un gas no condensable no se pueden emplear los métodos empíricos tradicionales debido a la complejidad del flujo. Cuando se presenta esta situación, es necesario emplear métodos más específicos que requieren de experimentación previa en un laboratorio o planta piloto, y de cálculos avanzados por ordenador.

No obstante, según la bibliografía, se puede simplificar el proceso aplicando ciertos criterios. En este caso, dichos criterios son:

- Al estar el gas no condensable de la mezcla en una proporción en volumen mayor del 70%, se puede estimar el coeficiente de convección externo como si se tratase únicamente de convección forzada.
- Se desprecia la influencia de la película de condensado gradual que se forma en el exterior de los tubos si se cumple el criterio anterior.

De esta manera, para convección forzada en flujo externo de un haz de tubos con placas deflectoras, se emplea la expresión siguiente:

$$h_i = \left(\frac{Nu \cdot k}{d_e} \right) = \frac{(0,36Re^{0,55} Pr^{0,33})k}{d_e} \quad (99)$$

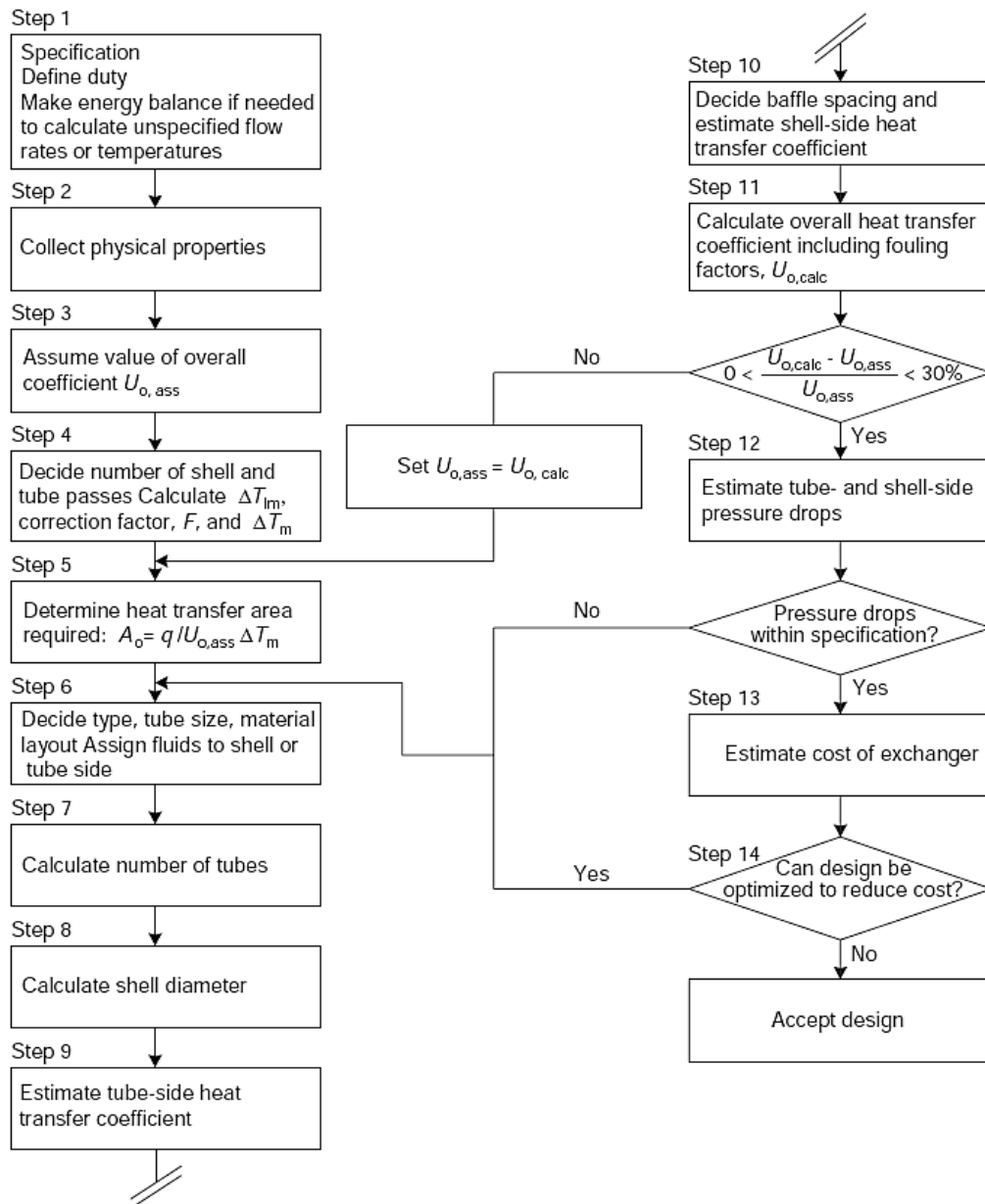


Figura 28. Método de diseño para intercambiadores de calor (Sinnott, 2005)

5.2. Resumen de diseño del condensador E-301

Empleando todas las consideraciones anteriores, se presenta a continuación la tabla final con el resumen del diseño del condensador E-301, donde también vienen desarrollados los parámetros del recolector de líquido y del tanque de homogenización V-302.

Tabla 70. Detalles de diseño del condensador E-301

Condensador E-301	
Nomenclatura TEMA	BHM
Pasos por tubo	4
Pasos por carcasa	1
ΔT_{ml} (°C)	93,63
Calor (kW)	3117,55
Área (m²)	154,65
U (W/m²·K)	200
<i>Diseño tubos</i>	
Fluido	Agua de refrigeración a 5°C
Material	SA-372 Gr. J Clase 70
Número tubos	133
Tamaño estándar ASME	2 1/2" BWG 14
Longitud (m)	6,10
Disposición	Triangular
ΔP (bar)	0,264
<i>Diseño carcasa</i>	
Fluido	Corriente 8
Material	SA-372 Gr. J Clase 70
Cabezal	Cabezal flotante de anillo partido
Diámetro (m)	1,74
Longitud (m)	2,10
ΔP (bar)	0,03
<i>Baffles internos</i>	
Tipo	Segmento simple
Material	SA-372 Gr. J Clase 70
Separación (m)	0,85
% Corte	25
<i>Recolector de líquido</i>	
Inclinación (%)	15
Material	SA 516 Gr. 70
Longitud (m)	2,7
Ancho (m)	0,5
<i>Tanque de homogenización</i>	
Orientación	Vertical
Material	SA 516 Gr. 70
Longitud (m)	2,5
Diámetro (m)	0,5
Tiempo retención (min)	10
Altura de líquido (m)	1,5

6. Columna de destilación T-301

En la columna de destilación T-301 tiene lugar la separación de los dos compuestos de la corriente líquida de salida del condensador E-301, que son GBL y agua, a partir de sus diferencias en volatilidad.

6.1. Introducción

La columna T-301 es una columna de destilación binaria en la que se produce el contacto en contracorriente de una fase vapor ascendente y una líquida descendente. Según el tipo de columna que se especifique en el diseño, dicho contacto puede ser facilitado empleando platos de contacto o bien un lecho de relleno.

En la figura 29 se presentan dos esquemas de ambos tipos de columna.

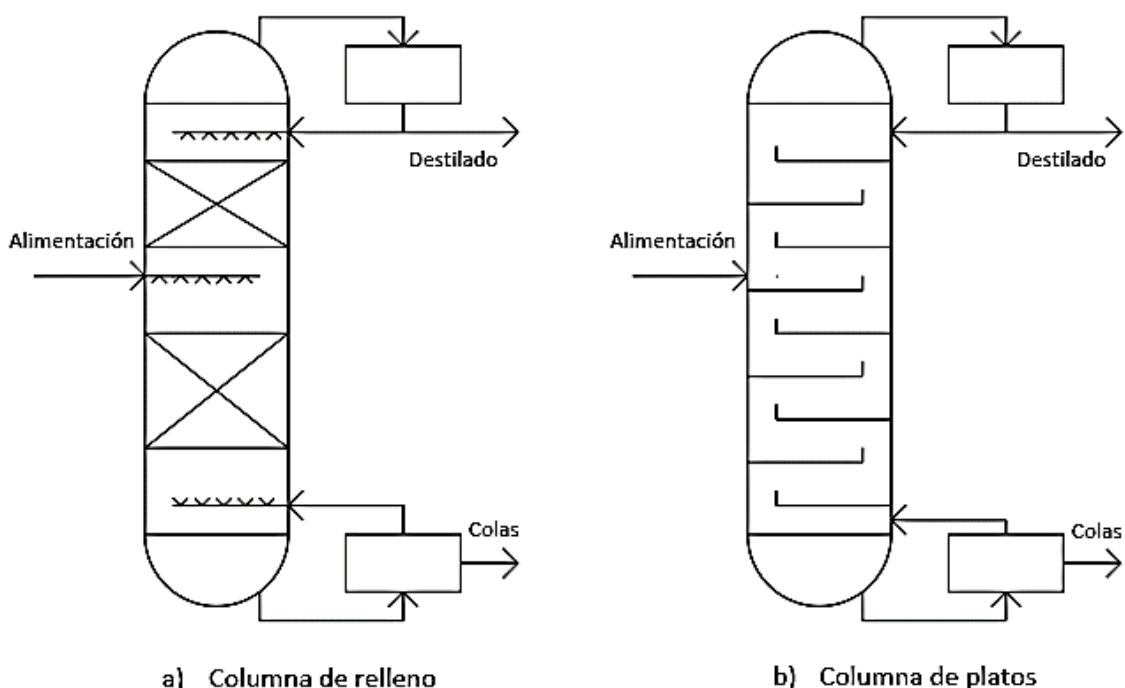


Figura 29. Tipos de columna de destilación. (Elaboración propia)

La columna de destilación se puede dividir en dos secciones:

- 1) Sección de rectificación o enriquecimiento: es la zona de cabezas, donde el vapor se enriquece en el componente más volátil. En la parte superior, el vapor llega al condensador, que puede ser total o parcial, según necesidades.

En este proyecto se emplea un condensador total, que es aquel en el que todo el vapor de entrada condensa, ofreciendo una corriente líquida de salida en la misma proporción que el vapor. Por su parte, en un condensador parcial solo una fracción de la corriente vapor pasa a fase líquida, obteniéndose una composición distinta a la fase vapor de entrada.

- 2) Sección de agotamiento: es la zona inferior a la corriente de alimentación, en donde se retira el componente volátil de la fase líquida por contacto con la fase vapor. La corriente líquida del fondo de la columna pasa a una caldera, vaporizando una fracción de la corriente, o a un evaporador, que la evapora de forma completa. En este proyecto se utiliza una caldera parcial.

6.2. Diseño de la columna T-301

El método de diseño de la columna se resume en los siguientes pasos:

1. Especificar el grado de separación requerido.
2. Seleccionar las condiciones de operación.
3. Seleccionar el tipo de columna: de platos o de relleno.
4. Determinar el número de etapas de equilibrio y el reflujo necesario.
5. Dimensionar la columna.
6. Diseñar los elementos internos de la columna
7. Realizar un diseño mecánico de la unidad y los elementos auxiliares.

De esta manera, en los subapartados siguientes se desarrolla cada punto anterior, con las justificaciones y cálculos adecuados.

6.2.1. Especificación del grado de separación requerido

Se desea obtener una corriente líquida de GBL al 99,7% másico de pureza, que es la base de diseño de este proyecto. Los flujos molares cada corriente a partir de esta especificación, y las fracciones molares de cada componente, se obtienen de un balance de materia general y un balance de materia al componente más volátil i :

$$F = D + B \quad (100)$$

$$F x_{F,i} = D x_{D,i} + B x_{B,i} \quad (101)$$

Siendo:

F = Flujo molar total de entrada a la columna (kmol/h)

D = Flujo molar total de la corriente de destilado (kmol/h)

B = Flujo molar total de la corriente de colas (kmol/h)

$x_{F,i}$ = Fracción molar del componente i en la corriente de alimentación

$x_{D,i}$ = Fracción molar del componente i en la corriente de destilado

$x_{B,i}$ = Fracción molar del componente i en la corriente de colas

Para comprobar cuál de los dos compuestos es el más volátil, se comparan las temperaturas de vaporización para cada uno a la misma presión. El que tenga la temperatura de vaporización más baja es el compuesto más volátil.

Según las fichas de seguridad, la temperatura normal de vaporización de la GBL es de 202 °C y la del agua 100 °C, por lo que este último es el componente más volátil de la mezcla binaria.

También se puede comprobar mediante las presiones de vapor. A mayor presión de vapor a una temperatura dada, más volátil es el compuesto. La presión de vapor de la GBL a 20 °C es de 0,15 kPa, mientras que la del agua es 2,33 kPa. De nuevo se obtiene la misma conclusión de que el agua es el compuesto más volátil.

Aplicando las ecuaciones 100 y 101, para una alimentación líquida de 30,80 kmol/h al 28,57% de agua, se obtiene:

Tabla 71. Balance de materia a la columna T-301

Propiedad	Valor
F (kmol/h)	30,80
D (kmol/h)	8,55
B (kmol/h)	22,25
x_{F,H_2O}	0,2857
x_{D,H_2O}	0,9923
x_{B,H_2O}	0,0142

Dado que es una mezcla binaria, la composición del componente menos volátil se calcula fácilmente empleando las ecuaciones 102 y 103.

Para fase líquida:

$$x_{GBL} = 1 - x_{H_2O} \quad (102)$$

Para fase vapor:

$$y_{GBL} = 1 - y_{H_2O} \quad (103)$$

Tabla 72. Composición molar de GBL en las corrientes de la columna T-301

Propiedad	Valor
$x_{F,GBL}$	0,7143
$x_{D,GBL}$	0,0077
$x_{B,GBL}$	0,9858

6.2.2. Selección de las condiciones de operación

Seleccionar una presión de operación apropiada es fundamental para realizar un buen diseño y lograr una buena separación de los dos componentes. Se siguen las siguientes heurísticas presentadas por *Biegler et Al.* en 1997 conforme a la selección de la presión en una columna:

- Para obtener una fase líquida, la presión en el condensador debe estar por debajo de la presión crítica de la corriente de destilado.

- Las columnas que operan a vacío son más caras. Por ello, en relación al coste, se debería operar con una presión en la columna entre 1 y 7 bar.
- Para poder emplear agua de enfriamiento en el condensador, la temperatura de rocío de la corriente en fase vapor de entrada debe ser como mínimo 5 grados mayor que la temperatura del agua.
- La presión en la caldera debe ser tal que permita el uso de vapor de agua saturado como fluido calefactor. Es decir, la temperatura de burbuja de la corriente de entrada a la caldera debe ser, como mínimo, cinco grados menos que la temperatura del vapor de agua empleado.

Se decide que la presión de operación sea de 1 bar. Para comprobar que se cumplen las heurísticas, se hace uso de los datos de equilibrio temperatura-concentración de la tabla 73, extraídos del programa Aspen Plus, suponiendo que la mezcla tiene comportamiento ideal.

La figura 30 surge de graficar los datos de equilibrio, y se conoce como diagrama T-x-y.

Tabla 73. Datos de temperatura-concentración para una mezcla de GBL y H₂O a 1 bar

x_{H_2O}/y_{H_2O}	T burbuja (°C)	T rocío (°C)	x_{H_2O}/y_{H_2O}	T burbuja (°C)	T rocío (°C)
0,00	203,81	203,81	0,52	128,79	180,00
0,02	198,17	203,10	0,54	127,19	178,74
0,04	192,99	202,38	0,56	125,63	177,45
0,06	188,22	201,64	0,58	124,11	176,11
0,08	183,81	200,89	0,60	122,62	174,72
0,10	179,71	200,13	0,62	121,16	173,28
0,12	175,88	199,36	0,64	119,74	171,79
0,14	172,31	198,57	0,66	118,34	170,23
0,16	168,95	197,77	0,68	116,98	168,60
0,18	165,78	196,96	0,70	115,64	166,90
0,20	162,78	196,12	0,72	114,34	165,11
0,22	159,94	195,28	0,74	113,06	163,23
0,24	157,24	194,41	0,76	111,81	161,24
0,26	154,67	193,53	0,78	110,59	159,13
0,28	152,21	192,63	0,80	109,40	156,88
0,30	149,85	191,71	0,82	108,24	154,46
0,32	147,59	190,77	0,84	107,12	151,86
0,34	145,42	189,81	0,86	106,03	149,01
0,36	143,32	188,83	0,88	104,99	145,87
0,38	141,30	187,83	0,90	103,99	142,35
0,40	139,35	186,80	0,92	103,04	138,33
0,42	137,45	185,74	0,94	102,16	133,60
0,44	135,62	184,65	0,96	101,34	127,72
0,46	133,84	183,54	0,98	100,62	119,59
0,48	132,11	182,39	1,00	100,00	100,00
0,50	130,43	181,21			

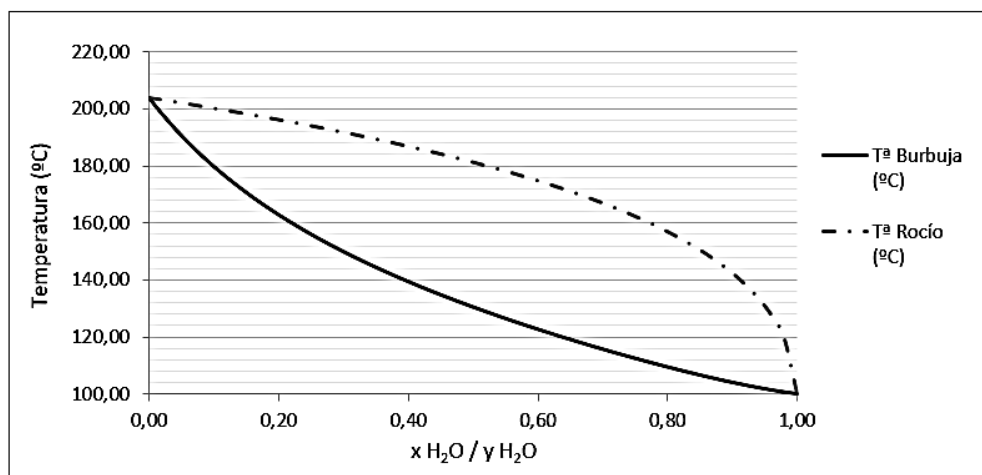


Figura 30. Diagrama T-x-y para una mezcla de GBL y H₂O a 1 bar

Tras un análisis, se concluye lo siguiente:

- La temperatura de burbuja de la corriente de entrada al evaporador siempre será menor que la del vapor de agua saturado a media presión (mps) empleado en este equipo.
- Empleando agua de enfriamiento a 10°C, aprovechada de la salida del condensador E-301, la temperatura de rocío de la corriente de entrada al condensador siempre será mayor. Además, la presión crítica es cercana a los 220 bar, muy por encima de la presión posible de operación del condensador.

Por lo tanto, operar a 1 bar está justificado, y se controla mediante una válvula de control situada a la entrada de la columna. La temperatura de operación serán los 95 °C estimados a la salida del condensador E-301.

6.2.3. Selección de tipo de columna

Como se ha explicado en el apartado 7.1, en la industria se utilizan principalmente dos tipos de columna, de relleno o de platos. La elección depende de las condiciones de operación y las propiedades de la corriente.

Las columnas de relleno se emplean cuando se espera que el diámetro de la columna sea inferior a 0,6 metros, lo que implica que el caudal de líquido sea pequeño. Este será el factor determinante en la elección, pues el caudal de líquido a destilar en este proyecto es considerablemente bajo.

Las características principales de la columna de relleno son:

- El contacto líquido-vapor es continuo, y no en etapas.
- El flujo es en contracorriente.
- Es necesario garantizar una correcta distribución del vapor y del líquido a través del lecho.

Se decide que la columna T-301 sea una columna con dos lechos de relleno, uno en la zona de agotamiento y otro en la zona de rectificación, tal y como se muestra en la figura 29a. La razón de emplear dos zonas con lecho es garantizar una buena distribución del líquido de entrada, permitiendo el acceso y espacio adecuado para instalar un plato de distribución.

6.2.4. Determinación del número de etapas requerido y el reflujo necesario

Para obtener el número de etapas ideales en una destilación binaria, se pueden emplear dos métodos: el método Lewis-Sorel y el método gráfico de McCabe-Thiele. Ambos métodos parten de los mismos principios termodinámicos, siendo el método gráfico desarrollado por McCabe-Thiele una simplificación del primero.

6.2.4.1. Introducción al método McCabe-Thiele: método de Lewis-Sorel

El método de Lewis-Sorel se basa en el método de Sorel, empleado para resolver, etapa a etapa y simultáneamente, los balances de materia, los balances de energía y las relaciones de equilibrio entre los dos compuestos.

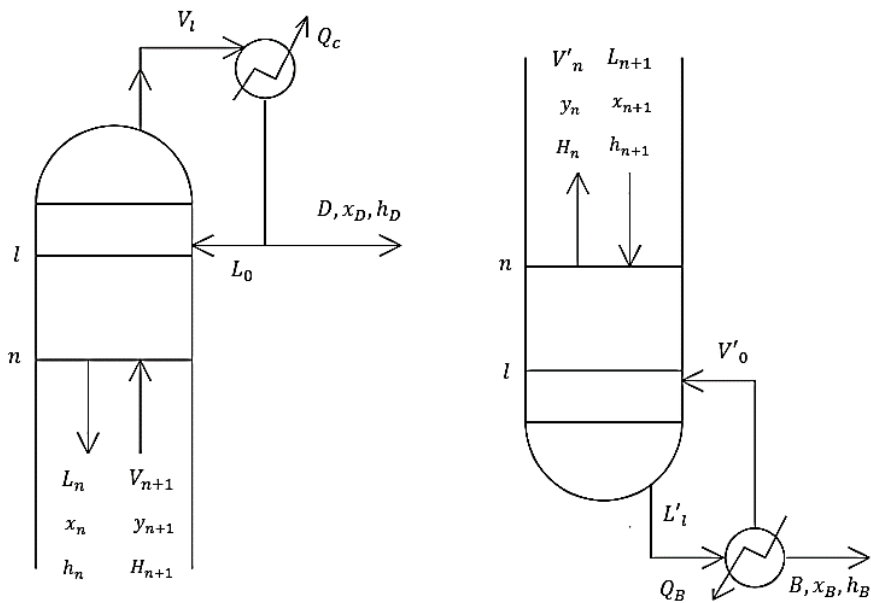


Figura 31. Balance de materia y energía en cada sección de la columna (Elaboración propia)

Aplicando las ecuaciones de materia a la zona de rectificación y agotamiento respecto al componente más volátil, se obtiene:

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{L_n + D} x_n + \frac{D}{L_n + D} x_d \quad (104)$$

$$x_{n+1} = \frac{V'_n}{V'_n + B} x_n + \frac{B}{V'_n + B} x_d \quad (105)$$

Y aplicando un balance de energía:

$$V_{n+1}H_{n+1} = (L_n + D)H_{n+1} = L_n h_n + D h_D + Q_c \quad (106)$$

$$L'_{n+1}h_{n+1} = (V'_n + B)h_{n+1} = V'_n H_n + B h_B - Q_B \quad (107)$$

Siendo L y V los flujos molares de líquido y vapor en la zona de rectificación en kmol/h, respectivamente, y L' y V' los flujos molares de líquido y vapor en la zona de agotamiento, mismas unidades.

A partir de la consideración de que un mol de vapor condensa a la vez que un mol de líquido se evapora, se puede asumir que los flujos molares de líquido y vapor en cada etapa son constantes. Esto es válido cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- La columna es adiabática.
- Los cambios de calor específico son pequeños comparados a los cambios de calor latente.
- El calor de vaporización por mol de mezcla es constante.

Por tanto, aplicando estos criterios, las ecuaciones 106 y 107 se pueden escribir como:

$$y_{n+1} = \frac{L}{L+D} x_n + \frac{D}{L+D} x_d \quad (108)$$

$$x_{n+1} = \frac{V'}{V'+B} y_n + \frac{B}{V'+B} x_b \quad (109)$$

Y, dado que:

$$V = L + D \quad (110)$$

$$L' = V' + B \quad (111)$$

Las ecuaciones 108 y 109 se pueden reescribir de la siguiente manera:

$$y_{n+1} = \frac{L}{V} x_n + \frac{D}{L+D} x_d \quad (112)$$

$$y_n = \frac{L'}{V'} x_{n+1} - \frac{B}{V'} x_b \quad (113)$$

Estas ecuaciones lineales son conocidas como las líneas superior e inferior de operación, respectivamente. Representan la relación entre la composición líquida y vapor en la zona de rectificación, ecuación 112, y en la zona de agotamiento, ecuación 113.

6.2.4.2. Método de McCabe-Thiele

El método de McCabe-Thiele es un método gráfico en el que se emplean las líneas de operación y los datos de equilibrio de la mezcla binaria para obtener el número de etapas necesarias. Es el método que se utiliza para el diseño de la columna T-301.

El primer paso es obtener los datos de equilibrio para la mezcla binaria de GBL y agua, que en este caso se presentan en la tabla 74 extraídos del programa Aspen Plus.

Tabla 74. Datos de equilibrio para una mezcla de GBL y H₂O a 1 bar

x_{H_2O}	y_{H_2O}	x_{H_2O}	y_{H_2O}
0,0000	0,0000	0,5200	0,9567
0,0200	0,1502	0,5400	0,9616
0,0400	0,2722	0,5600	0,9659
0,0600	0,3723	0,5800	0,9699
0,0800	0,4552	0,6000	0,9735
0,1000	0,5247	0,6200	0,9768
0,1200	0,5834	0,6400	0,9797
0,1400	0,6331	0,6600	0,9824
0,1600	0,6759	0,6800	0,9848
0,1800	0,7127	0,7000	0,9869
0,2000	0,7446	0,7200	0,9889
0,2200	0,7725	0,7400	0,9906
0,2400	0,7969	0,7600	0,9921
0,2600	0,8184	0,7800	0,9935
0,2800	0,8374	0,8000	0,9947
0,3000	0,8543	0,8200	0,9957
0,3200	0,8693	0,8400	0,9966
0,3400	0,8827	0,8600	0,9974
0,3600	0,8947	0,8800	0,9981
0,3800	0,9055	0,9000	0,9986
0,4000	0,9153	0,9200	0,9990
0,4200	0,9240	0,9400	0,9994
0,4400	0,9319	0,9600	0,9997
0,4600	0,9391	0,9800	0,9999
0,4800	0,9456	1,0000	1,0000
0,5000	0,9514		

Graficando los datos de la tabla 74, se obtiene la figura 32, conocida como curva de equilibrio líquido vapor o ELV. Como se puede observar, al existir tanta diferencia en volatilidades la mezcla no presenta ningún azeótropo y la separación se espera que sea sencilla.

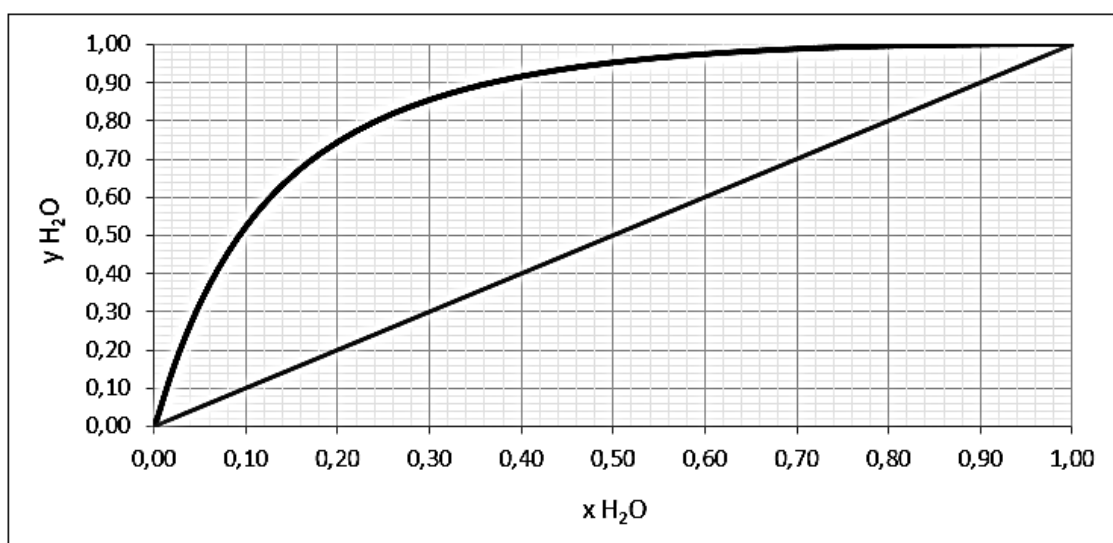


Figura 32. Gráfica de equilibrio líquido-vapor para una mezcla de GBL y H₂O a 1 bar

El número de etapas teóricas depende de la relación de reflujo:

$$R = \frac{L_0}{D} \quad (114)$$

Siendo:

R = Relación de reflujo en el condensador

L_0 = Flujo molar de líquido que se incorpora de nuevo a la columna (kmol/h)

D = Flujo molar de la corriente de destilado (kmol/h)

La línea de operación superior (de la zona de rectificación), se puede escribir en función de la corriente de reflujo:

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{1}{R+1} x_d \quad (115)$$

Como el valor de R es desconocido, se suele especificar como un múltiplo de la relación de reflujo mínima:

$$R = m \cdot R_{min} \quad (116)$$

Siendo m una constante, cuyo valor habitual se sitúa entre 1 y 1,5, aunque dependiendo de las condiciones puede ser mayor. La relación de reflujo mínima indica el valor límite de reflujo en el cuál la separación puede realizarse. Cualquier relación de reflujo por encima de este valor límite es válido, y a medida que se incrementa el valor de R , menos etapas se requieren en la columna.

Para el cálculo del reflujo mínimo, se necesita representar la línea q en el diagrama anterior. La línea q viene especificada por el parámetro q , que representa las condiciones en las que se encuentra la alimentación y se define como:

$$q = \frac{Q_F}{\Delta H_{vap,F}} = \frac{\text{calor para evaporar 1 kmol de alimentación}}{\text{calor molar latente de alimentación}} \quad (117)$$

Expresado matemáticamente para la mezcla binaria:

$$q = \frac{x_{F,H_2O} \cdot \Delta H_{vap,H_2O} + x_{F,GBL} \cdot \Delta H_{vap,GBL} + [x_{F,H_2O} \cdot C_{p,H_2O} + x_{F,GBL} \cdot C_{p,GBL}](T_{b,F} - T_{o,F})}{x_{F,H_2O} \cdot \Delta H_{vap,H_2O} + x_{F,GBL} \cdot \Delta H_{vap,GBL}} \quad (118)$$

Siendo $T_{b,F}$ y $T_{o,F}$ las temperaturas de burbuja de la alimentación y de entrada a la columna en °C, respectivamente. La temperatura de burbuja de la alimentación se extrapola de la tabla 74, y el resto de cálculos se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 75. Cálculo del parámetro q

Propiedad	Valor
$T_{b,F}$ (°C)	151,43
Q_F (kJ)	52024,3
$\Delta H_{vap,F}$ (kJ/kmol)	44191,4
q	1,177

De una manera análoga a las líneas de operación, se representa la línea q como:

$$y = \frac{q}{q-1}x + \frac{1}{q-1}x_F \quad (119)$$

Esta línea pasa por el punto (x_F, x_F) y tiene una pendiente de $\frac{q}{q-1}$. El punto de intersección entre la línea q y la curva de equilibrio (punto P en la figura 33) es también punto de intersección de la línea superior de operación para reflujo mínimo.

Tabla 76. Parámetros para la determinación de R_{min}

Parámetro	Valor
Línea q	$y = 6,64x - 1,612$
Línea Superior Op. en R_{min}	$y = 0,1384x + 0,855$
Punto P	(0,361 , 0,787)

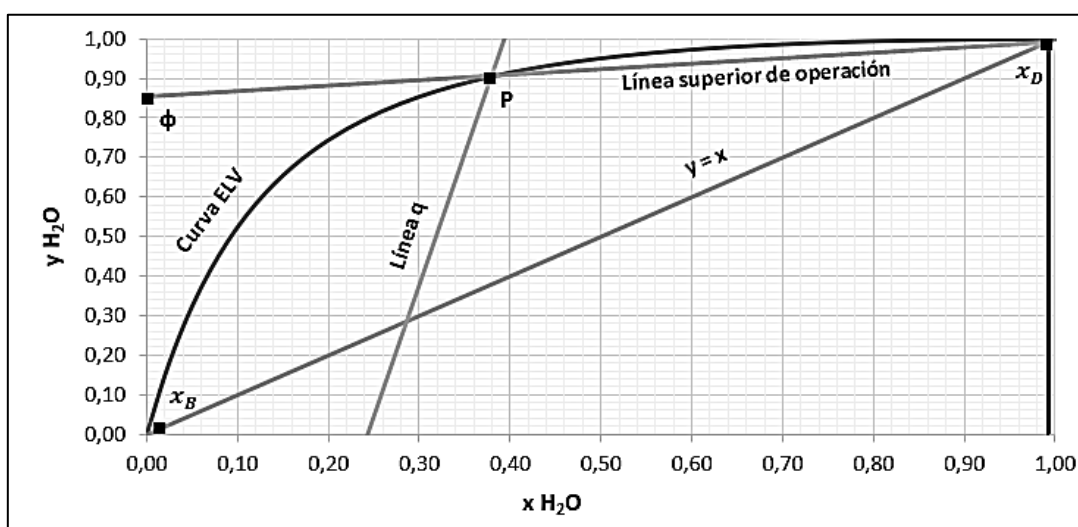


Figura 33. Esquema del método para calcular la relación de reflujo mínima

De esta manera, se obtiene el corte de la línea superior de operación con el eje de ordenadas (punto ϕ en la figura 33), y mediante la ecuación 120, la relación de reflujo mínima. El valor de R se obtiene al aplicar la ecuación 116 y los resultados se muestran en la tabla 77.

$$R_{min} = \frac{x_D}{\phi} - 1 \quad (120)$$

Tabla 77. Estudio del carácter adiabático del tanque de mezcla V-105

Parámetro	Valor
Punto ϕ	(0 , 0,855)
R_{min}	0,16
m	3
R	0,48

Se decide que el multiplicador m sea de 3 porque se observa que la relación de reflujo mínima es bastante baja. Una vez obtenido el parámetro R , se calcula el corte con el eje de abscisas ϕ' de la nueva línea superior de operación empleando la ecuación 121:

$$\phi' = \frac{1}{R+1} x_d \quad (121)$$

El punto de corte de la línea superior de operación con la línea q (punto P' en la figura 34) es también punto de corte con la línea inferior de operación.

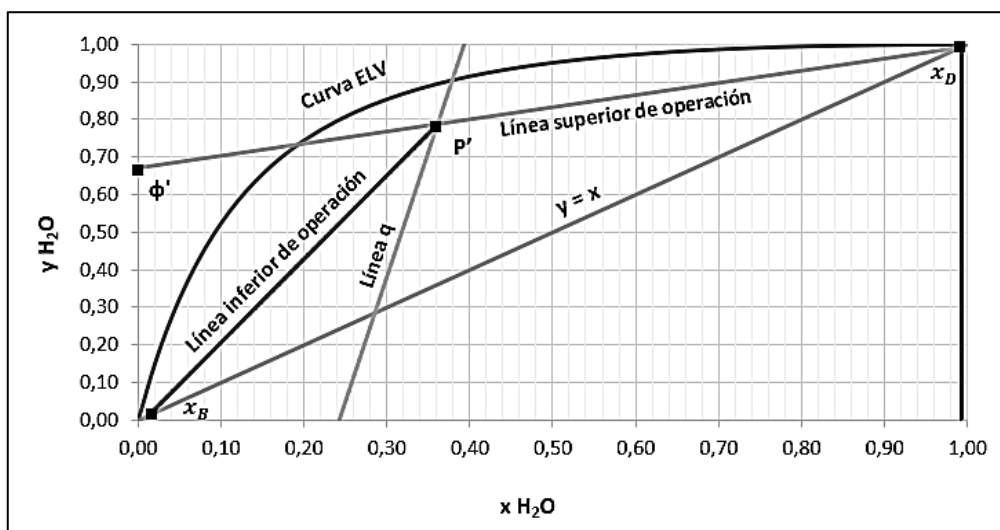


Figura 34. Esquema del método para calcular el número teórico de etapas

Finalmente, para calcular el número de etapas, se empieza desde el punto (x_D, x_D) a trazar líneas rectas que corten con la curva ELV y con las líneas superior e inferior de operación. Cada “escalón” formado corresponde a una etapa necesaria. En la figura 35 se representa este procedimiento:

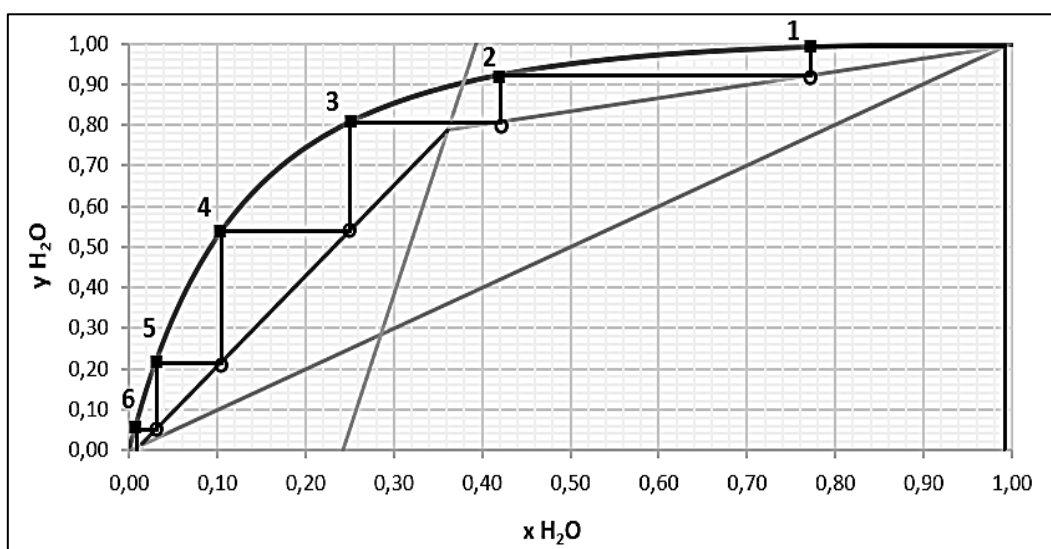


Figura 35. Determinación del número teórico de etapas

Tabla 78. Parámetros de las líneas de operación superior e inferior

Parámetro	Valor
Línea Superior Op.	$y = 0,3251x + 0,6697$
Línea Inferior Op.	$y = 2,2283x - 0,0174$
L/V	0,3251
L'/V'	2,2283

Los puntos marcados con un cuadrado (■), que cortan con la curva de equilibrio, representan las composiciones de líquido y vapor de las corrientes de salida de cada etapa, y los marcados con un círculo (O), que cortan con las líneas de operación, representan las composiciones de líquido y vapor de las corrientes de entrada en cada etapa.

Dado que se decide emplear un condensador total y una caldera parcial, ésta última será tratada como una etapa más. Los resultados de emplear el método gráfico de McCabe-Thiele son los siguientes:

Tabla 79. Estudio del carácter adiabático del tanque de mezcla V-105

Parámetro	Valor
N_{etapas}	5
$N_{\text{etapas}} + \text{caldera}$	6

Cabe mencionar que el número de etapas es teórico, y habría que aplicarle la eficacia de la columna. En el caso de las columnas de relleno, los valores típicos de eficacia se sitúan entre un 50% y un 75%, y para este diseño se establece un valor intermedio de 60%:

Tabla 80. Estudio del carácter adiabático del tanque de mezcla V-105

Parámetro	Valor
Eficacia (%)	60%
N_{etapas}	9

6.2.5. Etapa de entrada de alimentación

La etapa de entrada de la alimentación a la columna se puede determinar a partir del diagrama de McCabe-Thiele, concretamente en la figura 35. Por regla general, se suele alimentar a la columna en la etapa que menos diferencia de composiciones se genere entre la entrada y el fluido que circule por dentro.

Ateniéndose al criterio anterior, la línea q , que representa la composición de la alimentación, se encuentra exactamente entre la etapa 2 y la etapa 3 en el diagrama. Aplicando la eficacia de 60%, se puede considerar que la línea q se encuentra entre las etapas 3 y 4. De esta manera, se establece que entre esas dos etapas se coloque el distribuidor de líquido de entrada, dividiendo la columna en tres etapas de rectificación y seis etapas de agotamiento.

6.2.6. Dimensionamiento de la columna

Los pasos que se emplean para dimensionar la columna de relleno son los siguientes:

1. Selección de tipo y tamaño de relleno.
2. Determinación del diámetro de la columna necesario para manejar los caudales de líquido y de vapor.
3. Determinación de la altura de relleno necesaria para lograr la separación.
4. Selección de los elementos internos de la columna.
5. Cálculo de la altura total

6.2.6.1. Selección de tipo y tamaño de relleno

El relleno de una columna es un conjunto de estructuras de diversas formas y tamaños con una gran área superficial, poca resistencia al flujo de gas y que favorecen el contacto continuo y uniforme entre el líquido y el vapor en todo el lecho.

Se puede dividir en dos tipos, atendiendo a su disposición:

- 3) Relleno estructurado: formado por elementos de relleno fabricados de mallas de alambre o planchas metálicas perforadas, que se colocan de forma ordenada y siguiendo un patrón determinado para lograr una elevada área superficial. Se suelen emplear principalmente cuando la separación es difícil o la operación se realiza en vacío.
- 4) Relleno al azar: los elementos de relleno se disponen en el lecho de forma aleatoria, sin patrón. Es menos eficaz, pero considerablemente más barato que el relleno estructurado.

Existen multitud de estructuras que conforman el relleno, desde estructuras cilíndricas de forma anular hasta modelos en forma de silla. Las propias compañías incluso tienen patentados modelos para uso propio. Una pequeña selección de tipos de estructuras de relleno se representa en la figura 36, correspondientes a las fabricadas por la compañía Koch-Glitsch, LP.

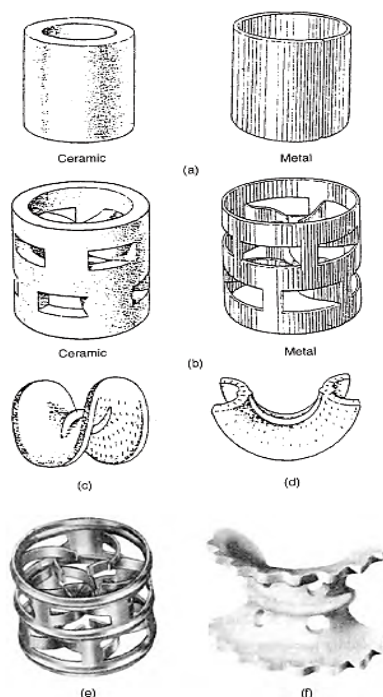


Figura 36. Distintos tipos de relleno: a) Anillos Raschig, b) Anillos Pall, c) Silla cerámica Berl, d) Silla cerámica INTALLOX, e) HY-PAK metálico, f) SUPER INTALLOX metálico. (Sinnott, 2005)

Los anillos Raschig y Pall, así como los modelos de silla Berl e INTALLOX, se pueden fabricar en distintos materiales: metal, cerámica, plástico o carbón. Los más eficientes suelen ser los de metal y plástico, pero también son los más sensibles al calor.

Respecto al coste, los anillos Raschig son más baratos, pero menos eficientes que los anillos Pall o los modelos de silla, lo que podría incrementar a la larga el coste de operación de la columna. Según la bibliografía, para columnas nuevas es preferible seleccionar anillos Pall de 1".

En la tabla 81 se muestran los datos de diseño para los tipos de estructura más básicos utilizados en los rellenos al azar, con los tamaños estándar disponibles.

Tabla 81. Parámetros de diseño de distintos tipos de relleno (Wankat, 2011)

	Tamaño		Densidad aparente (kg/m³)	Área superficial a (m²/m³)	Factor de relleno $F_p m^{-1}$
	In	mm			
Anillos cerámicos Raschig	0,50	13	881	368	2100
	1,0	25	673	190	525
	1,5	38	689	128	310
	2,0	51	651	95	210
	3,0	76	561	69	120
Metal (densidad del acero al carbono)	0,5	13	1201	417	980
	1,0	25	625	207	375
	1,5	38	785	141	270
	2,0	51	593	102	190
	3,0	76	400	72	105
Anillos Pall metálicos (densidad del acero al carbono)	0,625	16	593	341	230
	1,0	25	481	210	160
	1,25	32	385	128	92
	2,0	51	353	102	66
	3,5	76	273	66	52
Plásticos (densidad del polipropileno)	0,625	16	112	341	320
	1,0	25	88	207	170
	1,5	38	76	128	130
	2,0	51	68	102	82
	3,5	89	64	85	52
Sillas cerámicas INTALLOX	0,5	13	737	480	660
	1,0	25	673	253	300
	1,5	38	625	194	170
	2,0	51	609	108	130
	3,0	76	577		72

Con todos los datos anteriores, se selecciona para la columna T-301 un relleno al azar formado por anillos Pall metálicos con un tamaño estándar de 1".

6.2.6.2. Determinación del diámetro de la columna

El diámetro de la columna se dimensiona para operar desde un 65% hasta un 90% de la velocidad de inundación en el relleno. Para ello se emplea la gráfica de la figura 37, que representa la correlación generalizada de inundación desarrollada por *Sherwood et Al.* 1938 y modificada en 1970 por Eckert para columnas de relleno.

La ecuación del eje de abscisas es una relación adimensional entre los flujos líquido y vapor de las corrientes de cabezas (rectificación) y de colas (agotamiento):

$$abscisas = \frac{L}{G} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{1/2} \quad (122)$$

Siendo:

L = Flujo másico total de líquido (lb/s)

G = Flujo másico total de vapor (lb/s)

Por su parte, la ecuación del eje de ordenadas, para cabezas y colas, es:

$$\text{ordenadas} = \frac{G^2 F \psi \mu^{0,2}}{\rho_G \rho_L g_c} \quad (123)$$

En donde:

G = Velocidad másica de inundación por unidad de área (lb/ft²s)

F = Factor de empaque dependiente del tipo y tamaño de relleno. Sus valores se extraen de la tabla 82. (1/ft)

ψ = Relación entre la densidad del agua y la del líquido.

$$\psi = \frac{\rho_w}{\rho_L} \quad (124)$$

ρ_w = densidad del agua líquida, $\approx 1000 \text{ kg/m}^3$

μ = Viscosidad dinámica del líquido (cP)

g_c = Constante de gravedad ($\approx 32,2 \text{ ft/s}^2$)

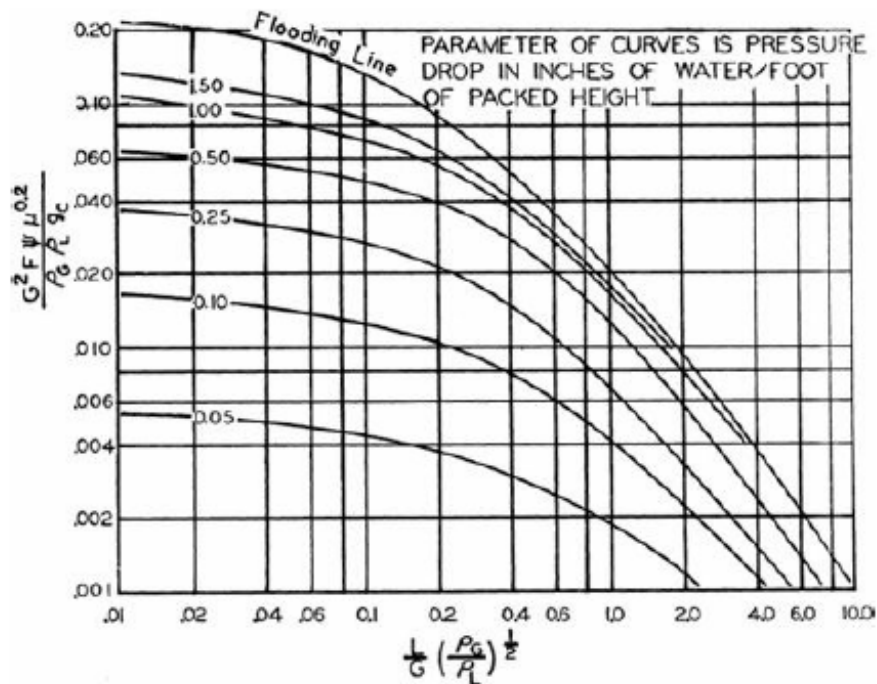


Figura 37. Correlación generalizada de inundación (Wankat, 2011)

Tabla 82. Determinación del factor F para la ecuación 123 (Wankat, 2011)

Packing Type		Nominal				Packing Size, in					
		1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	3
Raschig rings (metal, 1/32" wall)	F	700	390	300	170	155	115	—	—	—	—
	α				1.20						
	β				0.28						
Raschig rings (metal 1/16" wall)	F	—	—	410	290	220	137	110	83	57	32
	α					0.80	0.42	—	0.29	0.23	—
	β					0.30	0.21	—	0.20	0.14	—
Raschig rings (ceramic)	F	1600	1000	580	380	255	155	125	95	65	37
	α		4.70	3.10	2.35	1.34	0.97	0.57	0.39	0.24	0.18
	β		0.44	0.41	0.26	0.26	0.25	0.23	0.23	0.17	0.15
Pall rings (plastic)	F	—	—	—	97	—	52	—	32	25	—
	α						0.22			0.10	—
	β						0.14		—	0.12	—
Pall rings (metal)	F	—	—	—	70	—	48	—	28	20	—
	α				0.43		0.15		0.08	0.06	—
	β				0.17		0.16		0.15	0.12	—
Berl saddles (ceramic)	F	900	—	240	—	170	110	—	65	45	—
	α			1.2		0.62	0.39	—	0.21	0.16	—
	β			0.21		0.17	0.17	—	0.13	0.12	—
Intalox saddles (ceramic)	F	725	330	200	—	145	98	—	52	40	22
	α			1.04		0.52	0.52		0.13	0.14	—
	β			0.37		0.25	0.16		0.15	0.10	—
Intalox saddles (plastic)	F	—	—	—	—	—	33	—	—	21	16
Intalox saddles (metal)	F						41			18	
Flexirings (plastic)	F				78	—	45	—	28	22	—
Ballast ring (plastic)	F					97	—	52	32	25	—
Cascade miniring (plastic)	F				—	30	25	18	—	15	—
Hy-Pak (plastic)	F						25			12	

Source: Eckert (1970), Ludwig (1967), Coker (1991), Geankoplis (2003)

Para poder emplear las ecuaciones anteriores, es necesario recopilar las propiedades físico-químicas de las corrientes de cabeza y de colas. Aplicando un balance de materia al condensador y al evaporador, se obtienen los flujos molares de salida y entrada de la columna.

Para cabezas:

$$V = \frac{D}{1 - \frac{L}{V}} \quad (125)$$

$$L = V - D \quad (126)$$

Para colas:

$$V' = \frac{B}{\frac{L'}{V'} - 1} \quad (127)$$

$$L' = V' + B \quad (128)$$

La temperatura en cabezas será la correspondiente temperatura de rocío para la fracción molar de agua en destilado, y la temperatura de colas será la correspondiente temperatura de burbuja para la fracción molar de agua en colas.

Se asume además que las pérdidas de presión en la columna son despreciables, por lo que la columna, el condensador y la caldera operan isobáricamente a 1 bar. Esta suposición está respaldada por el hecho de que las columnas de relleno tienen menos pérdida de presión que las columnas de platos, y para éstas últimas es muy común realizar los diseños en base a una operación isobárica.

Finalmente, los datos para las corrientes de cabezas y de colas, con sus respectivas propiedades químicas obtenidas de fuentes bibliográficas y el simulador Aspen Plus, y empleando las correlaciones para mezclas binarias, se presentan en la tabla 83.

Tabla 83. Propiedades de las corrientes de cabezas y de colas de la columna T-301

Datos	Cabezas	Colas
T (°C)	100,2	198,9
P (bar)	1,0	1,0
L (kmol/h)	4,119	40,378
V (kmol/h)	12,670	18,129
ρ_L (kg/m ³)	951,3	959,5
ρ_v (kg/m ³)	0,5845	1,992
σ_L (N/m)	0,0586	0,0458
μ_L (kg/m · s)	$2,838 \cdot 10^{-4}$	$3,923 \cdot 10^{-4}$
μ_v (kg/m · s)	$9,336 \cdot 10^{-7}$	$9,53 \cdot 10^{-7}$
M _{liq} (kg/kmol)	27,70	85,13
M _{vap} (kg/kmol)	18,55	79,56

El objetivo es obtener el valor de G de la ecuación 123. El procedimiento es:

- 1) Calcular el eje de abscisas con los datos de la tabla 84
- 2) Comprobar en la figura 37 el valor del eje de ordenadas, utilizando la línea de *Flooding* (inundación).
- 3) A partir del eje de ordenadas, obtener el valor de G despejándolo de la ecuación 123.

En la tabla siguiente se presenta el desarrollo para cabezas y para colas:

Tabla 85. Cálculo de G en la zona de cabezas y la zona de colas

Datos	Cabezas	Colas
abscisas	0,012	0,109
ordenadas	0,22	0,15
Tipo relleno	Anillo Pall Metálico	Anillo Pall Metálico
Tamaño relleno (in)	1	1
F (1/ft)	137	137
ψ	1,05	1,04
G (lb/ft ² s)	0,38	2,24
G (kg/m ² s)	1,852	10,93

El G calculado es el correspondiente a un estado de inundación. El valor de G de diseño está comprendido entre un 65% y 90% del valor de inundación, y en este proyecto se decide emplear un valor intermedio del 80% para los cálculos posteriores:

$$G_{real} = 80\% G \quad (129)$$

A partir del valor de G_{real} se puede obtener el área de paso necesaria:

$$A_c = \frac{G_{real}}{V_m} \quad (130)$$

Siendo:

V_m = Flujo másico total de vapor (kg/s):

$$V_m = \frac{1}{3600} M_{vap} V \quad (131)$$

Y finalmente, el diámetro se obtiene de obtiene a partir del área de paso:

$$D_c = \sqrt{\frac{4A_c}{\pi}} \quad (132)$$

Como los cálculos se realizan tanto para la sección de cabezas como para la de colas, se van a obtener dos diámetros diferentes, uno para cada sección. Se podría emplear una columna cuyo diámetro fuese variando gradualmente a lo largo de la misma, pero el resultado sería considerablemente más caro que emplear un único recipiente cilíndrico de dimensiones fijas. Es por ello que se establece el siguiente criterio: si la diferencia de diámetros calculados es inferior a 20%, se procede a realizar el diseño con el mayor diámetro de ambos.

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 86. Determinación del diámetro estándar de la columna T-301

Datos	Cabezas	Colas
G_{real} (kg/m ² s)	1,48	8,74
A_c (m ²)	0,044	0,049
V_m (kg/s)	0,065	0,43
D_c (m)	0,237	0,250
Diferencia (%)	5,2%	
D_c estándar ASME (in)	10	
D_c estándar ASME (m)	0,254	
Inundación real (%)	78,7	

Como se puede observar, el error es menor de 20%, por lo que se emplea el diámetro de colas para toda la columna. Dadas sus dimensiones, el diámetro estándar correspondiente es de 10 in, que es ligeramente más grande que el diámetro necesario. Ello repercute en la inundación, como se observa en la tabla 86, disminuyéndola en un 1,3%.

Se comprueba además que el diámetro es inferior a 0,6 metros, así que la utilización de una columna de relleno está bien justificada desde un principio.

6.2.6.3. Determinación de la altura de relleno necesaria

Para calcular la altura de relleno necesaria en las dos zonas de relleno de la columna T-301, se pueden utilizar dos métodos:

- 1) Análisis de transferencia de materia: También conocido como Método HTU, en el que se calcula por difusión de masa la cantidad de unidades de transferencia (NTU) y la altura equivalente de cada unidad de transferencia (HTU). Es el más utilizado.
- 2) Análisis de equilibrio por etapas: También conocido como Método HETP, en el que se calcula la altura equivalente a un plato teórico (HETP) en cada etapa obtenida del diagrama McCabe-Thiele que proporcione un grado similar de separación.

Para asegurar una buena correspondencia de los valores calculados, se decide emplear ambos métodos y comprobar si se obtienen resultados semejantes.

6.2.6.3.1. Método HTU

La altura de relleno necesaria se calcula como:

$$Z_c = H_{OG}n_{OG} = H_{OL}n_{OL} \quad (133)$$

Siendo:

Z_c = Altura de relleno (m)

H_{OG} = Altura de una unidad total de transferencia en fase gas (m):

$$H_{OG} = \frac{G_n}{K_G a P} \quad (134)$$

K_G = Coeficiente de transferencia global de materia en fase gas (kmol/m² s bar)

a = Área real de empacado por unidad de volumen (m²/m³). Se extrae de la tabla 82.

P = Presión de operación de la columna (bar)

n_{OG} = Número de unidades totales de transferencia en fase gas

$$n_{OG} = \int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{y^* - y} \quad (135)$$

y^* = es la composición de vapor interfacial de componente más volátil en el equilibrio.

H_{OL} = Altura de una unidad total de transferencia en fase líquida (m):

$$H_{OL} = \frac{L_n}{K_L a C_t} \quad (136)$$

K_L = Coeficiente de transferencia global de materia en fase gas (kmol/m² s bar)

C_t = Concentración total del disolvente (kmol/m³)

n_{OL} = Número de unidades totales de transferencia en fase líquida

$$n_{OL} = \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{x - x^*} \quad (137)$$

x^* = es la composición líquida interfacial de componente más volátil en el equilibrio.

Por lo que, reescribiendo la ecuación 133, se obtiene:

$$Z_c = \frac{V_m}{K_G a P} \int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{y^* - y} = \frac{L_m}{K_L a P} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{x - x^*} \quad (138)$$

Las relaciones entre las alturas de unidades totales de transferencia y las alturas de una película individual son:

$$H_{OG} = H_G + m \frac{V_m}{L_m} H_L \quad (139)$$

$$H_{OL} = H_L + \frac{L_m}{m V_m} H_G \quad (140)$$

En donde:

H_G = Altura de una película o capa individual de gas (m)

H_L = Altura de una película o capa individual de líquido (m)

m = Pendiente media de la curva de equilibrio.

- **Cálculo de H_{OG} y H_{OL}**

Para el cálculo de todos los parámetros relativos a la obtención de H_{OG} y H_{OL} , se hace uso de las correlaciones de *Onda et Al.* publicadas en el año 1968.

Para el área efectiva:

$$\frac{a_w}{a} = 1 - \exp \left[-1,45 \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_L} \right)^{0,75} \left(\frac{L_m^*}{a_w \mu_L} \right)^{0,1} \left(\frac{L_m^{*2} a}{\rho_L^2 g} \right)^{-0,05} \left(\frac{L_m^{*2}}{\rho_L \sigma_L a} \right)^{0,2} \right] \quad (141)$$

Para los coeficientes de transferencia de materia de película o capa individuales:

$$k_L \left(\frac{\rho_L}{\mu_L g} \right) = 0,0051 \left(\frac{L_m^*}{a_w \mu_L} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\mu_L}{\rho_L D_L} \right)^{-\frac{1}{2}} (ad_p)^{0,4} \quad (142)$$

$$\frac{k_G RT}{a D_v} = K_5 \left(\frac{G_{real}}{a \mu_v} \right)^{0,7} \left(\frac{\mu_v}{\rho_v D_v} \right)^{1/3} (ad_p)^{-2} \quad (143)$$

Y para las alturas de las unidades de transferencia de las películas:

$$H_G = \frac{G_n}{k_G a_w P} \quad (144)$$

$$H_L = \frac{L_n}{k_L a_w C_t} \quad (145)$$

Siendo, en las ecuaciones anteriores:

a_w = Área efectiva de empacado por unidad de volumen (m^2/m^3)

L_m^* = Flujo másico de líquido por unidad de área transversal ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$)

d_p = Tamaño de las estructuras de relleno (m)

G_n = Flujo molar de vapor por unidad de área ($\text{kmol}/\text{m}^2\text{s}$)

L_n = Flujo molar de líquido por unidad de área ($\text{kmol}/\text{m}^2\text{s}$)

k_G = Coeficiente de transferencia de materia de la película de gas ($\text{kmol}/\text{m}^3\text{s bar}$)

k_L = Coeficiente de transferencia de materia de la película de líquido (m^2/s)

$K_5 = 5,23$ para tamaño de estructuras de relleno por encima de 15 milímetros.

σ_c = Tensión superficial crítica del material de las estructuras de relleno (N/m). Los valores típicos aparecen en la tabla 87.

D_L = Difusividad másica de líquido (m^2/s).

D_v = Difusividad másica de vapor (m^2/s).

Tabla 86. Parámetro σ_c en función del material (Sinnott, 2005)

Material	σ_c (mN/m)
Cerámica	61
Metal	75
Plástico	33
Carbón	56

Para obtener las difusividades másicas de una mezcla líquida, se emplea la ecuación desarrollada por *Wilke and Chang* en el año 1955:

$$D_{AB}^o = \frac{1,173 \cdot 10^{-13} (\phi_B M_B)^{\frac{1}{2}} (298,15)}{\mu_B V_A^{0,6}} \quad (146)$$

En donde:

D_{AB}^o = Difusividad de una mezcla líquida binaria de soluto A y disolvente B a 25 °C (m^2/s)

ϕ_B = Factor asociado al disolvente (= 2,26 para agua, = 1 para GBL)

M_B = Masa molecular del disolvente (kg/kmol)

μ_B = Viscosidad dinámica del disolvente a 25 °C (kg/m·s)

V_A = Volumen molar del soluto en su punto de ebullición (m³/kmol).

En las corrientes de la columna, se define como disolvente al componente líquido presente en mayor cantidad y, por ende, soluto al presente en menor cantidad. Los valores de D_{AB}^0 típicos para diferentes mezclas se pueden obtener de la tabla 87. Para obtener la difusividad a una temperatura distinta de 25 °C, se emplea la propiedad siguiente:

$$\frac{D_L \mu_L}{T} = cte \quad (147)$$

Y, por tanto:

$$D_{AB}(T) = D_L(T) = \left(\frac{D_{AB}^0 \cdot \mu_{AB}(25^\circ\text{C})}{298,15} \right) \frac{T}{\mu_{AB}(T)} \quad (148)$$

Tabla 87. Datos de difusividades para distintas mezclas (Wankat, 2011)

Solute, A	Solvent, B	T Kelvin	Conc. Solute	$D_{AB} \times 10^9, \text{m}^2/\text{s}$ or $\times 10^5, \text{cm}^2/\text{s}$
Air	Water	298.16	∞ dilution	2.00
Ammonia	Water	298.16	∞ dilution	1.64
Carbon dioxide	Water	298.16	∞ dilution	1.18
Chlorine	Water	298.16	∞ dilution	2.03
Helium	Water	298.16	∞ dilution	6.28
Hydrogen	Water	298.16	∞ dilution	4.50
Methanol	Water	288	∞ dilution	1.26
Ethanol	Water	283	∞ dilution	0.84
Ethanol	Water	298.16	∞ dilution	1.25
Ethanol	Water	298.15	$x = 0.266$	0.368
Ethanol	Water	298.15	$x = 0.408$	0.405
Ethanol	Water	298.15	$x = 0.680$	0.743
Ethanol	Water	298.15	$x = 0.880$	1.047
1-propanol	Water	298.16	∞ dilution	0.87
1-butanol	Water	298.16	∞ dilution	0.77
Fibrinogen human	Water	293	∞ dilution	0.0198 (MW 339700)
Γ -globulin human	Water	293	∞ dilution	0.040 (MW 153100)
Hemoglobin	Water	293	∞ dilution	0.0593 (MW 72300)
Sucrose	Water	298.16	C_A mol/L	$0.5228 - 0.65C_A$
Sucrose	Water	278	∞ dilution	0.285
Sucrose 3	.8 wt % gelatin in water	278	∞ dilution	0.209
Sucrose	10.35 wt % gelatin in water	278	∞ dilution	0.107
Chlorobenzene	Bromobenzene	283.3	$x = 0.0332$	1.007
Chlorobenzene	Bromobenzene	283.3	$x = 0.2642$	1.069
Chlorobenzene	Bromobenzene	283.3	$x = 0.5122$	1.146
Chlorobenzene	Bromobenzene	283.3	$x = 0.7617$	1.226
Chlorobenzene	Bromobenzene	313.1	$x = 0.0332$	1.584
Chlorobenzene	Bromobenzene	313.1	$x = 0.2642$	1.691
KCl	Water	298	∞ dilution	1.870
NaCl	Water	291	0.05 mol/L	1.26
NaCl	Water	291	0.2 mol/L	1.21
NaCl	Water	291	1.0 mol/L	1.24
Water	Ethanol	298.16	∞ dilution	1.132
Water	1-propanol	288	∞ dilution	0.87
Water	Glycerol	293	∞ dilution	0.0083
Carbon dioxide	Ethanol	298	∞ dilution	3.42
Ethanol	Benzene	288	∞ dilution	2.25

Para el cálculo de la difusividad de vapor, se emplea la ecuación presentada por *Sherwood et Al.* en el año 1975:

$$D_v = \left(\frac{\mu_v}{\rho_v S_{C_v}} \right) \quad (149)$$

Siendo:

D_v = Difusividad másica del vapor (m^2/s)

S_{C_v} = Número adimensional de Schmidt para vapor, que se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$S_{C_v} = 1,18 \frac{\Omega_D}{\Omega_v} \left(\frac{M_A}{M_A + M_B} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\sigma_{AB}}{\sigma_B} \right)^2 \quad (150)$$

En donde:

Ω_D = Coeficiente integral adimensional de colisión. En la tabla 88 se presentan algunos valores.

Ω_v = Coeficiente integral adimensional de colisión. (= 1 como estimación en este proyecto, al interpretarse que las moléculas no interactúan)

σ_{AB} = Parámetro de Lennard-Jones de la mezcla líquida (\AA):

$$\sigma_{AB} = \frac{\sigma_A + \sigma_B}{2} \quad (151)$$

σ_A y σ_B = Parámetros de Lennard-Jones relativos a los compuestos (\AA). Para el agua se puede extraer de la tabla 89, y para la GBL se efectúa una estimación en base a parámetros específicos de los enlaces de la molécula obtenidos por *Marco Masia y Rossend Rey* en su estudio "*Computational Study of γ -Butyrolactone and Li+/ ζ -butyrolactone in Gas and Liquid Phases*".

Tabla 88. Datos de los coeficientes de colisión y de Leonard-Jonnes de diferentes compuestos
(Wankat, 2011)

Compound	α (\AA)	ϵ/k_B (K)	$k_B T/\epsilon$	Ω_D
Air	3.711	78.6	0.30	2.662
Ammonia	2.900	558.3	0.50	2.066
Benzene	5.349	412.3	0.75	1.667
2-butane	5.278	330.1	1.00	1.439
1-butane	4.687	531.4	1.50	1.198
Carbon dioxide	3.941	195.2	2.00	1.075
Ethane	4.443	215.7	2.5	0.9996
Ethanol	4.530	362.6	5.0	0.8422
Methanol	3.626	481.8	20	0.6640
Propane	5.118	237.1	50	0.5756
Water	2.641	809.1	300	0.4360

Con todo lo expuesto anteriormente, se presentan en la siguiente tabla todos los parámetros obtenidos. Cabe mencionar que se realizan tanto para cabezas como para colas, pues en ambas secciones existen diferentes lechos de relleno, y que las propiedades químicas se consiguen de fuentes literarias y del simulador Aspen Plus:

Tabla 89. Cálculo de H_{OG} y H_{OL} para cada sección

Datos	Cabezas	Colas
Soluto A	GBL	Agua
Disolvente B	Agua	GBL
<i>Cálculo de difusividades</i>		
ϕ_B	2,26	1
V_A (m ³ /kmol)	0,09	0,019
μ_L (25°C)	$9,31 \cdot 10^{-4}$	$2,36 \cdot 10^{-3}$
μ_L (T)	$3,75 \cdot 10^{-4}$	$3,88 \cdot 10^{-4}$
Ω_D	0,436	0,450
σ_A (Å)	2,543	2,641
σ_B (Å)	2,641	2,543
σ_{AB} (Å)	2,592	2,592
Sc_v	0,206	0,465
D_{AB}^0 (m ² /s)	$1,06 \cdot 10^{-9}$	$1,48 \cdot 10^{-9}$
D_L (m ² /s)	$3,33 \cdot 10^{-9}$	$8,24 \cdot 10^{-9}$
D_v (m ² /s)	$7,75 \cdot 10^{-6}$	$1,03 \cdot 10^{-5}$
<i>Cálculo de k_G y k_L</i>		
σ_c (N/m)	0,075	
a (m ² /m ³)	210	
d_p (m)	0,025	
a_w (m ² /m ³)	76,31	191,43
L_m^* (kg/m ² s)	0,482	19,471
k_L (m/s)	$1,19 \cdot 10^{-4}$	$3,14 \cdot 10^{-4}$
k_G (kmol/m ² s bar)	$2,95 \cdot 10^{-3}$	$2,77 \cdot 10^{-3}$
<i>Cálculo de H_{OG} y H_{OL}</i>		
H_G (m)	0,355	0,207
H_L (m)	0,056	0,124
m	0,40	5,78
G_n (kmol/m ² s)	0,080	0,110
L_n (kmol/m ² s)	0,017	0,229
H_{OG} (m)	0,457	0,552
H_{OL} (m)	0,248	0,199

- **Cálculo de n_{OG} y n_{OL}**

Para obtener el valor de las unidades de transferencia totales, es necesario realizar la integral de las ecuaciones 135 y 137 por métodos numéricos. En este proyecto, se opta por utilizar la regla de los trapecios.

El método propuesto por la bibliografía consiste en trazar líneas en cada sección, comenzando desde el punto de intersección de las líneas de operación, que representen el equilibrio en la interfaz de contacto del líquido y el vapor. La pendiente de dichas líneas se representa como:

$$m_I = -\frac{L H_G}{V H_L} \quad (152)$$

Las fracciones molares interfaciales están en equilibrio, y se representan como x^* e y^* . Conociendo dichas fracciones molares interfaciales en equilibrio y las fracciones molares de los puntos (x, x) e (y, y) obtenidos del cruce con la línea $y = x$, se puede realizar la integración numérica en cada sección. Así, para el cálculo de n_{OG} en cabezas:

Tabla 90. Determinación del número de unidades de transferencia n_{OG} en cabezas

y	y^*	$y^* - y$	$\frac{1}{y^* - y}$	Área	m_I	n_{OG}
0,787	0,872	0,085	11,7	11,72	-2,070	2,1
0,816	0,911	0,095	10,5	21,00		
0,849	0,948	0,099	10,1	20,13		
0,881	0,970	0,089	11,2	22,47		
0,914	0,984	0,070	14,2	14,21		
0,946	0,992	0,046	22,0	21,96		
0,983	1,000	0,017	60,4	60,38		

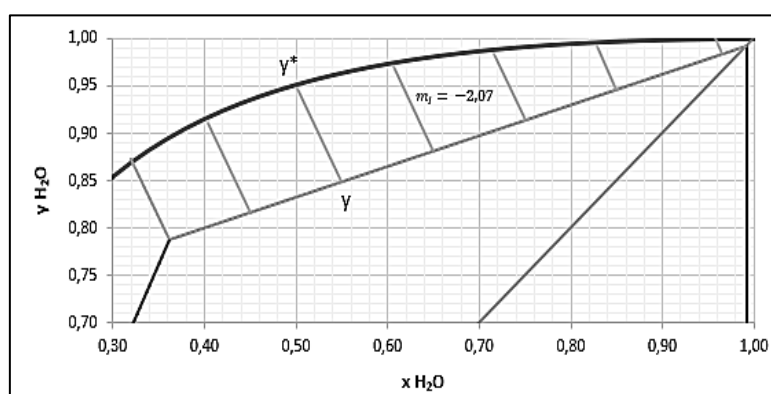


Figura 38. Representación gráfica del método para la integración numérica en cabezas

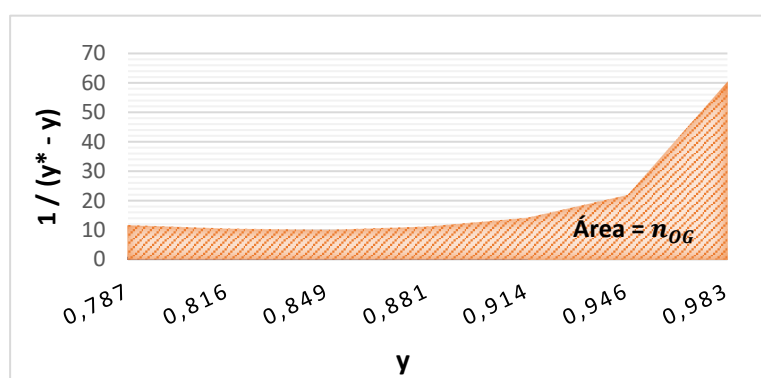


Figura 39. Área relativa al número de transferencia por integración en cabezas

Y en colas:

Tabla 91. Determinación del número de unidades de transferencia n_{OG} en colas

y	y^*	$y^* - y$	$\frac{1}{y^* - y}$	Área	m_I	n_{OG}
0,116	0,227	0,111	9,0	0,116	-3,720	3,5
0,205	0,358	0,153	6,6	0,205		
0,317	0,510	0,193	5,2	0,317		
0,428	0,633	0,205	4,9	0,428		
0,539	0,733	0,193	5,2	0,539		
0,651	0,807	0,156	6,4	0,651		
0,787	0,873	0,086	11,6	0,787		

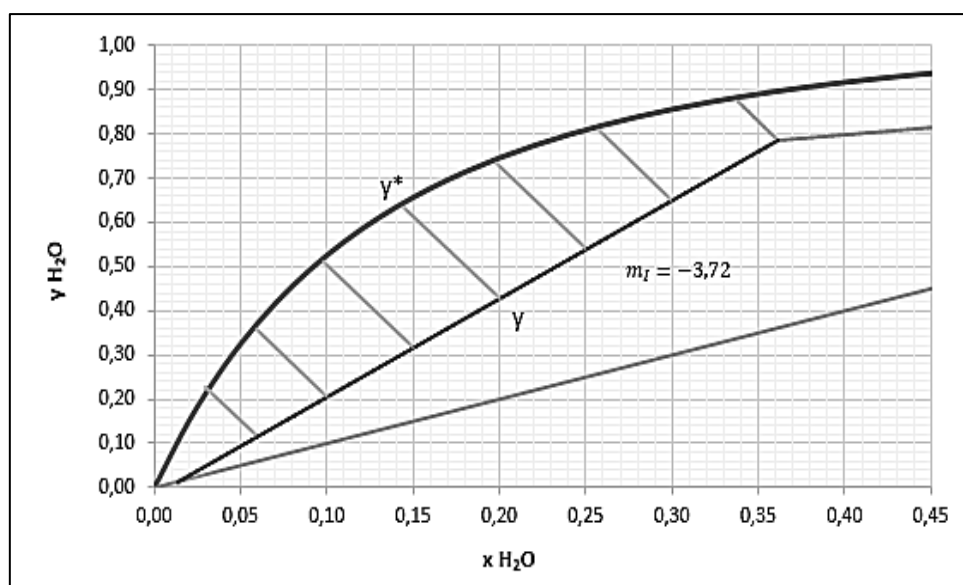


Figura 40. Representación gráfica del método para la integración numérica en colas

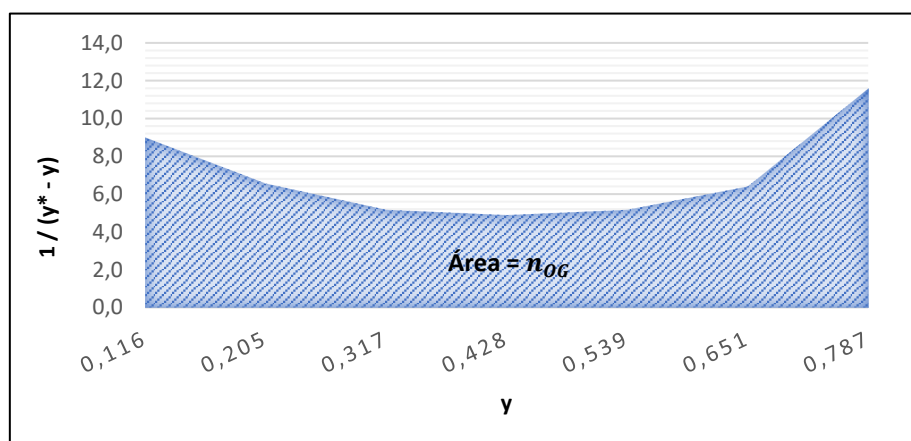


Figura 41. Área relativa al número de unidades de transferencia por integración en colas

El cálculo para n_{OL} de ambas secciones es análogo, pero empleando la ecuación 137 con las fracciones molares de líquido.

Tabla 92. Cálculo del número de unidades de transferencia en fase líquida

Parámetro	Valor
n_{OL} cabezas	3,95
n_{OL} colas	9,61

- **Cálculo de la altura de los rellenos**

Por último, empleando la ecuación 133 se pueden obtener las alturas de los dos lechos de relleno de la columna T-301, calculados tanto en base a los parámetros de vapor como a los de líquido. Los resultados se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 93. Altura de los lechos de relleno de la columna T-301 mediante el método NTU

Parámetro	Valor
Z_c zona rectificación (m)	0,98
Z_c zona agotamiento (m)	1,91

6.2.6.3.2. Método HETP

La ecuación básica en la que se fundamenta el método HETP es la siguiente:

$$Z_c = HETP \cdot N_{etapas} \quad (153)$$

En donde:

$HETP$ = Altura de relleno equivalente a un plato teórico (m)

Los valores de HETP se pueden obtener de recursos literarios y de proyectos donde se utilicen columnas con componentes semejantes. Algunos ejemplos de valores típicos de HETP en diferentes procesos se muestran en la tabla 95, que varían ligeramente con el tamaño y tipo de relleno.

Una regla general para anillos Pall en función del tamaño de relleno se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 94. HETP típicos en función del tamaño del relleno de anillos Pall metálicos (Sinnott, 2005)

Tamaño relleno (mm)	HETP típico (m)
1 in	0,4 – 0,5
$1 \frac{1}{2}$ in	0,6 – 0,75
2 in	0,75 – 1,0

Dadas las características de la corriente líquida, y la falta de información al respecto de HETP en una columna con GBL y agua, se apuesta por calcular el HETP necesario y comprobar que se ajusta a los rangos típicos de la tabla 95 de otros procesos de destilación.

Tabla 95. HETP típicos para columnas de relleno de diferentes mezclas (Wankat, 2011)

System	Pressure kPa	Column dia, m	Packing type	Packing size, mm	HTU m	HETP m
<i>Absorption</i>						
Hydrocarbons	6000	0.9	Pall	50		0.85
NH ₃ -Air-H ₂ O	101	—	Berl	50	0.50	
Air-water	101	—	Berl	50	0.50	
Acetone-water	101	0.6	Pall	50		0.75
<i>Distillation</i>						
Pentane-propane	101	0.46	Pall	25		0.46
IPA-water	101	0.46	Int.	25	0.75	0.50
Methanol-water	101	0.41	Pall	25	0.52	
	101	0.20	Int.	25		0.46
Acetone-water	101	0.46	Pall	25		0.37
	101	0.36	Int.	25		0.46
Formic acid-water	101	0.91	Pall	50		0.45
Acetone-water	101	0.38	Pall	38	0.55	0.45
	101	0.38	Int.	50	0.50	0.45
	101	1.07	Int.	38		1.22
MEK-toluene	101	0.38	Pall	25	0.29	0.35
	101	0.38	Int.	25	0.27	0.23
	101	0.38	Berl	25	0.31	0.31

Pall = Pall rings, Berl = Berl saddles, Int. = Intalox saddles

El valor de HETP se obtiene mediante la expresión 154, cuyos parámetros son análogos a los calculados en el apartado anterior para el método NTU:

$$HETP = \frac{H_{OG} \ln \left(\frac{mG_n}{L_n} \right)}{\left(\frac{mV_n}{L_n} - 1 \right)} \quad (154)$$

De esta manera, para las dos secciones:

Tabla 96. Cálculo de los valores HETP de la columna T-301

Parámetro	Valor
HETP cabezas (m)	0,33
HETP colas (m)	0,32

Los valores obtenidos se acercan al rango de valores típico para anillos Pall, que comprende entre los 0,37 m y 0,50 m según la tabla 95 para columnas de destilación con agua. También se observa que los valores de HTU (tabla 89) se aproximan a los valores típicos de dicha tabla. Aplicando la ecuación 153, se obtiene la altura de los lechos de relleno:

Tabla 97. Altura de los lechos de relleno empleando el método HETP

Parámetro	Valor
N _{etapas} zona rectificación	3
N _{etapas} zona agotamiento	6
Z _c zona rectificación	0,99
Z _c zona agotamiento	1,90

Comparando los resultados de altura obtenidos por el método NTU (tabla 93) frente a los obtenidos por el método HETP (tabla 97), la diferencia es mínima.

Se decide, por tanto, que la altura de los rellenos sea una media de los valores calculados según ambos métodos: 1,00 metros en la zona de rectificación, y 1,90 metros en la zona de agotamiento.

Por último, como norma de diseño para anillos Pall, la altura de cada relleno debe ser menor a 8 veces el diámetro de la columna (2,0 metros), y se comprueba que este factor se cumple en cada sección.

6.2.6.4. Selección de los elementos internos de la columna

Los accesorios internos de los que dispone la columna T-301 son: dos soportes de relleno, uno para cada sección; dos distribuidores de líquido, el de entrada de alimentación y el de entrada de reflujo; un plato de sujeción; un distribuidor de vapor y finalmente un colector de líquido. Los modelos comerciales escogidos son del fabricante Koch-Glitsch, cuyo catálogo de elementos internos se referencia en la bibliografía.

- **Soportes de relleno**

La función de los soportes de relleno es soportar el peso del relleno húmedo, permitiendo a su vez el paso del vapor y del líquido a su través. Se decide utilizar platos de soporte de inyección de gas para relleno al azar, como el mostrado en la figura 42. El modelo comercial en el catálogo es el 814.

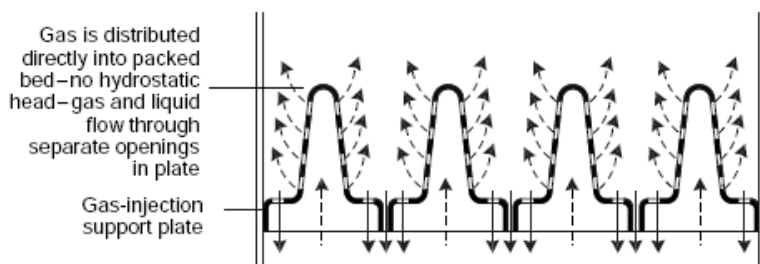


Tabla 42. Esquema de un soporte de relleno que permite el flujo de vapor (Sinnott, 2005)

- **Distribuidores de líquido**

Los distribuidores de líquido proporcionan un flujo de líquido uniforme a lo largo de la columna. Para la distribución del líquido de alimentación, se emplea el modelo 719 del catálogo, consistente en una tubería de entrada con orificios de salida en la parte inferior. Para la corriente de reflujo de la parte superior, se decide emplear el modelo 943 de distribución en spray, pues el caudal de líquido es menor.

- **Plato de sujeción**

Un plato de sujeción (Figura 43) es un elemento que limita el caudal de líquido de entrada al lecho de relleno y previene un estado de elevada inundación. Es recomendable incorporar los

en la columna si el empaquetamiento es al azar, por lo que se decide implementarlo en la parte superior del lecho de la zona de rectificación. El modelo del catálogo es el 805.

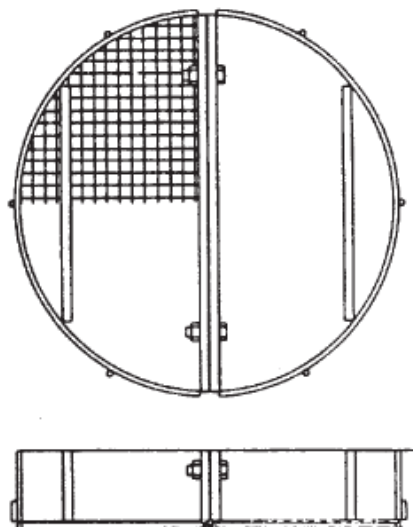


Tabla 43. Esquema de un plato de sujeción de relleno (Sinnott, 2005)

- **Distribuidor de vapor**

El distribuidor de vapor se encuentra en la parte inferior al lecho de relleno de la zona de agotamiento. Distribuye uniformemente el vapor de la salida del evaporador en el lecho. El modelo comercial empleado es el 746.

- **Recolector de líquido**

Situado en la parte inferior, es un mecanismo de recogida de líquido de la columna para llevar dicha corriente al evaporador. Al ser una columna de diámetro pequeño, el modelo 611 del catálogo se considera el más adecuado.

6.2.6.5. Altura total de la columna

La altura total de la columna, o más específicamente, del recipiente cilíndrico sin cabezales ni soporte, se calcula en base a la altura de relleno necesaria y la altura correspondiente a la instalación de los elementos internos, que requieren de 15 a 30 cm en función del elemento correspondiente.

Suponiendo que se necesitan 20 cm de media por elemento interno, la altura total de la columna se estima como:

Tabla 98. Determinación de la altura total de la columna T-301

Parámetro	Valor
Altura total de relleno, Z (m)	2,9
Altura de instalación elem. internos, Z_e (m)	1,4
Altura total de la columna, Z (m)	4,3

6.2.7. Diseño mecánico de la columna T-301

El procedimiento de diseño mecánico de la columna T-301 es análogo al empleado en el tanque de mezcla V-101 y reactor R-201, por lo que en este apartado se razona y justifica únicamente la elección del material.

Se requiere de un material que sea resistente a la corrosión que pueda provocar la mezcla de agua y GBL, y que soporte las cargas y esfuerzos de la columna.

Para comprobar la resistencia de los materiales a la corrosión, se emplea el diagrama de la figura 44. La GBL es un buen disolvente orgánico, por lo que se requiere de un material de resistencia A, como las aleaciones de hierro y los vidrios de cerámica.

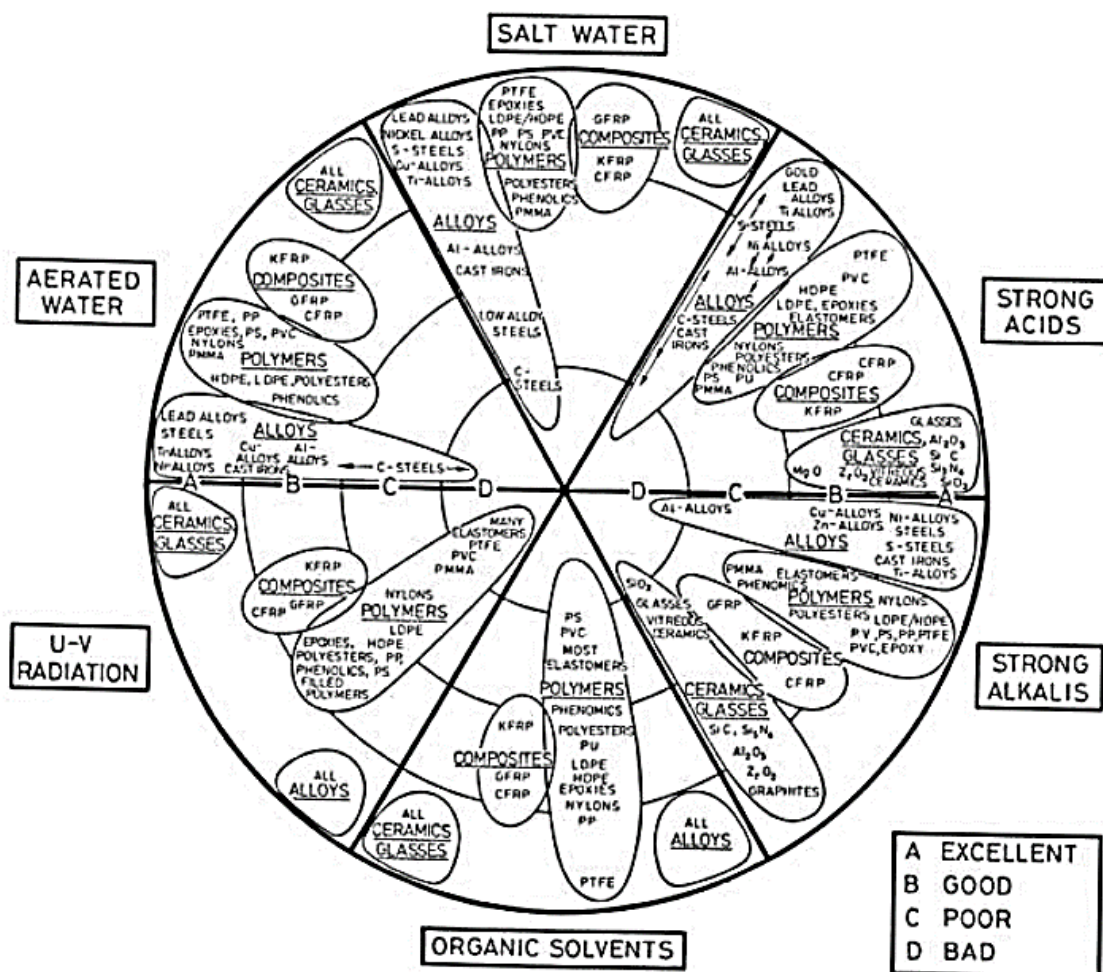


Tabla 44. Diagrama de resistencia a la corrosión de distintos materiales (Ugural, 2016)

Como el recipiente cilíndrico (la carcasa de la columna) es largo y tiene poco diámetro en comparación, se estima que un esfuerzo relevante de diseño es la rigidez del material. Para concretar el material, se hace uso de los índices y diagramas de Ashby.

En un diseño donde la rigidez es la causa limitante, el índice de diseño es:

$$M = \frac{E^{1/2}}{\rho} \quad (155)$$

Siendo:

M = Función a maximizar ($\text{m}^3 \cdot \text{GPa} / \text{mg}$)

E = Módulo de Young (GPa)

El diagrama de Ashby correspondiente al módulo de Young frente a la densidad del compuesto se presenta a continuación en la figura 45. Se observa que las aleaciones de hierro y las cerámicas técnicas son las aconsejadas resultado de maximizar la ecuación 155 empleando las líneas de guía.

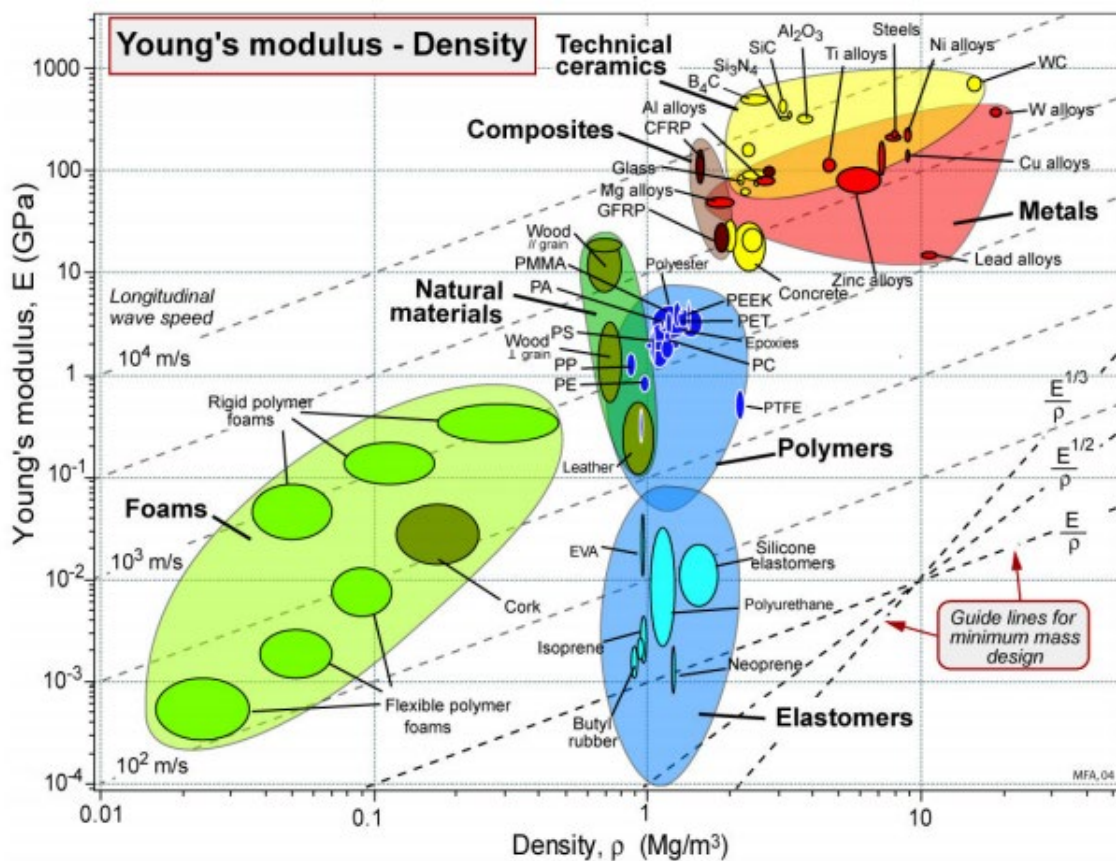


Figura 45. Diagrama Ashby que relaciona E y ρ (M. Ashby, 2002)

Por último, se realiza una comparativa de precios empleando la figura 46. Las cerámicas técnicas son mucho más caras que las aleaciones de hierro, y dentro de estas últimas, salen más rentables las aleaciones de aluminio y los aceros al carbono.

Como se desea maximizar M y minimizar el coste, se decide emplear acero al carbono para la columna, en concreto el modelo ASME SA 516 Grado 70, que es también el material de otros equipos de la instalación.

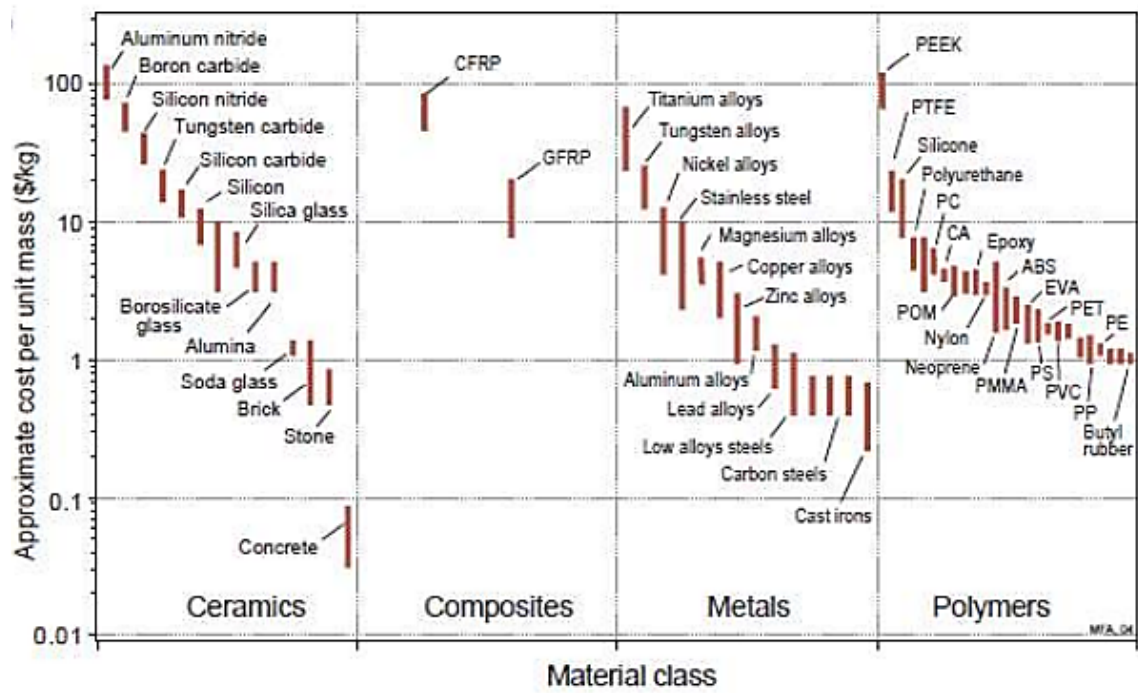


Figura 46. Coste por unidad de masa de distintos materiales (Ugural, 2016)

6.3. Resumen final de diseño de la columna T-301

Con todas las consideraciones de los apartados anteriores, se resume el diseño de la columna en la tabla 99, donde también se especifican los datos de diseño básicos referentes al condensador total y al evaporador parcial empleados. Como fluido refrigerante del condensador E-302, se emplea parte del agua de salida de condensador E-301.

Tabla 99. Detalles de diseño de la columna de destilación T-301

Columna de destilación T-301	
Tipo	Columna de relleno
Material carcasa	Acero al carbono SA 516 Gr. 70
Orientación	Vertical
Cabezales	Toriesféricos
Soporte	Soporte de falda cónico
<i>Dimensiones carcasa</i>	
Longitud (m)	4,30
Diámetro interno (m)	0,25 (10 in.)
Espesor estándar (mm)	5.1 mm (0,2 in.)
Capa de aislante	1'' modelo L1
<i>Relleno</i>	
Relleno estándar	Anillos Pall de 1''
Distribución	Al azar
Zonas de relleno	2: Rectificación y agotamiento
Volumen de relleno (m³)	0,141
<i>Condensador total E-302</i>	
Tipo	Carcasa y tubos
Fluido refrigerante	Agua de refrigeración a 10°C
Nomenclatura TEMA	AES
Pasos por tubo	2
Pasos por carcasa	1
Calor (kW)	133,54
Área (m²)	5,04
ΔTm (°C)	90,2
U (W/m²·K)	300
<i>Evaporador parcial E-303</i>	
Tipo	Kettle
Fluido calefactor	Vapor saturado a media presión
Nomenclatura TEMA	AUK
Calor (kW)	325,59
Área (m²)	12,96
ΔTm (°C)	31,4
U (W/m²·K)	800

7. Intercambiador de calor E-401

En el intercambiador E-401, se calienta el gas procedente del compresor K-401 hasta la temperatura de mezcla requerida en el tanque V-101. El método de diseño es el mostrado en la figura 28 para intercambiadores de calor de carcasa y tubos.

Como fluido calefactor se emplea un aceite térmico comercial, Mol Thermol 46, cuya ficha técnica se anexa en la bibliografía. Este aceite entra por la carcasa 260 °C, y se enfría hasta los 245 °C. La diferencia de temperaturas alcanzada en el aceite es menor de 30 °C, conforme a las reglas de diseño de la tabla 4.

Los datos resumen del intercambiador E-401 son los siguientes:

Tabla 100. Detalles de diseño del intercambiador E-401

Intercambiador de calor E-401	
Nomenclatura TEMA	AES
Pasos por tubo	2
Pasos por carcasa	1
F	0,9
Calor (kW)	2293,97
ΔT_{ml} (°C)	72,56
Área (m²)	351,22
U (W/m²·K)	100
<i>Diseño tubos</i>	
Fluido	Gas (corriente 15)
Material	SA372 Gr. J Clase 70
Número tubos	462
Tamaño estándar ASME	2" BWG 14
Longitud (m)	4,88
Disposición	Triangular
ΔP (bar)	0,003 (<i>Despreciable</i>)
<i>Diseño carcasa</i>	
Fluido	Aceite térmico MOL Thermol 46
Material	SS-304 Gr. H
Cabezal	Cabezal flotante de anillo partido
Diámetro (m)	1,58
Longitud (m)	2,94
ΔP (bar)	0,03
<i>Baffles internos</i>	
Tipo	Segmento simple
Material	SS-304 Gr. H
Separación (m)	0,31
% Corte	25

8. Referencias

A novel route for synthesis of GBL through the coupling of hydrogenation and dehydrogenation. **Zhu Yu-lei, Xiang Hong-wei, Wu Gui-sheng, Bai Liang, Li Yong-wang. 2002.** Shanxi, People's Republic of China : Advance Article, 2002, Vol. Chem. Commun. DOI: 10.1039/b109658n.

American Petroleum Institute. 2000. API RP 520. [En línea] 2000.
https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=API%20RP%20520%20P1&item_s_key=00010566&rid=IHS.

ASM. 2018. AISI Type 316 Stainless Steel, annealed sheet. [En línea] 2018. [Citado el: 21 de Septiembre de 2018.]
<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=mq316a>.

Brown McFarlane. 2018. Chapas de acero para Recipientes a Presión: ASME SA516 Grado 70 y ASTM A516 Grado 70. [En línea] 2018. [Citado el: 9 de Diciembre de 2018.]
<https://www.brownmac.com/es/productos/chapas-de-acero-para-vasos-de-presion/asme-sa516-astm-a516-gr-70>.

BValve. 2018. Válvulas de seguridad con bridas serie API 526. [En línea] 2018.
<http://www.bvalve.es/productos/valvulas-de-seguridad-con-bridas-serie-api-526/>.

Computational Study of γ -Butyrolactone and Li+/ γ -butyrolactone in Gas and Liquid Phases. **M. Masia, R. Rey. 2004.** Barcelona, España : Published on Web, 2004, Vol. J. Phys. Chem. B. DOI: 10.1021/jp046979i.

Dehydrogenative cyclization of 1,4-butanediol over copper-based catalyst. **N. Ichikawa, S. Sato, R. Takahashi. 2004.** 2004, Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 212.

DELTA Screens. 2018. Delta Catalyst Support Grids. [En línea] 2018. [Citado el: 18 de Noviembre de 2018.] <http://deltascreens.com/products/catalyst-support-grids/>.

F. P. Incropera, D. P. Dewitt, T.L. Bergman. 2011. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. New Jersey : John Wiley & Sons, 2011. ISBN: 978-0470-50197-9.

Gas-phase hydrogenation of maleic anhydride to γ -butyrolactone at atmospheric. **Yang Yu, Yanglong Guo, Wangcheng Zhan, Yun Guo, Yanqin Wang, Yunsong Wang, Zhigang Zhang. 2011.** 2011, Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 337.

Integrated process for γ -butyrolactone production. **Athesham, Javaid y Sorin Bildea, Costin. 2014.** 3, 2014, Vols. U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 76. ISSN 1454-2331.

J.M. Smith, H.C. Van Ness, M. M. Abbott. 2007. *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química*. México D.F. : McGraw-Hill, 2007. ISBN: 978-970-10-6147-3.

Kern, D. Q. 1950. *Process Heat Transfer*. Singapur : McGraw-Hill, 1950. ISBN 0-07-085353-3.

Kinetic characterization of catalysts for methanol synthesis. **S. Ledakowicz, L. Nowicki, J. Petera, J. Nizioł. 2013.** 2013, Chemical and Process Engineering, vol. 4.

Kinetics and Mechanism in the Liquid-Phase Hydrogenation of Maleic Anhydride and Intermediates. **U. Hermann, G. Emig. 1998.** Weinheim, Alemania : Wiley-VCH, 1998, Vol. Chem. Eng. Technol. vol. 21. 0930-7516/98/0101-0028.

Kinetics Study on Maleic Anhydride Gas-Phase Hydrogenation to γ -Butyrolactone. **Zhao Gang-wei, Zhu Yu-lei, Teng Bo-tao, Zheng Hong-yang, Ziang Hong-wei, Li Yong-wang. 2006.** 5, Beijing, China : s.n., 2006, Vols. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, vol. 20.

Koch-Glitsch. 2018. KOCH-GLITSCH® mass transfer technology. [En línea] 2018. [Citado el: 15 de Noviembre de 2018.] <http://www.koch-glitsch.com/masstransfer/default.aspx>.

Levenspiel, O. 2004. *Ingeniería de las reacciones químicas*. México : Umusa Wiley, 2004. ISBN: 968-18-5860-3.

M. Ashby, K. Johnson. 2002. *Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design*. Italia : Butterworth Heinemann, 2002. ISBN 0-7506-5554-2.

Measurement of Fatigue Crack Growth Rates for SA-372 Gr. J Steel in 100 MPa Hydrogen Gas Following Article KD-10. **C. San Marchi, K. Nibur. 2013.** s.l. : American Society of Mechanical Engineers, Pressure Vessels and Piping Division, 2013. DOI: 10.1115/PVP2013-97455.

MOL Magyarország. 2018. MOL Thermol 46. [En línea] 2018. [Citado el: 11 de Noviembre de 2018.] <https://mol.hu/en/about-mol/media-room/125-lubricants-autochemicals/industrial-oils/other-oils/3538-mol-thermol-46-heat-transfer-oil/>.

Moss, D. R. 2004. *Pressure Vessel Design Manual*. Oxford : Elsevier, 2004. ISBN: 0-7506-7740-6.

Owens Corning. 2016. FIBERGLAS™ UTILICORE® INSULATION. [En línea] 2016. [Citado el: 23 de Septiembre de 2018.] <https://www.owenscorning.com/insulation/products/utilicore-fiberglass-insulation>.

R. Turton, R.C. Bailie, W.B. Whiting, J.P. Shaelwitz. 2009. *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes*. Boston, Estados Unidos : Pearson Education, Inc., 2009. ISBN: 978-0-13-512966-1.

SandMeyerSteel. 2016. Alloy 304/304H. [En línea] 2016. [Citado el: 22 de Septiembre de 2018.] <https://www.sandmeyersteel.com/304h.html>.

Sinnott, R.K. 2005. *Chemical Engineering Design*. Oxford : Elsevier, 2005. ISBN 0-7506-6538-6.

Smith, R. 2005. *Chemical Process Design and Integration*. Manchester : John Wiley & Sons, Ltd, 2005. ISBN 0-471-48681-7.

SunnySteel. 2016. Standard for U bend Tubes. [En línea] 2016. [Citado el: 21 de Septiembre de 2018.] <http://www.sunnysteel.com/Standard-for-U-bend-Tubes.php>.

Ugural, A. C. 2016. *Mechanical Design of Machine Components, SI Version*. Estados Unidos : Taylor & Francis Group, 2016. ISBN 978-1-4987-3537-7.

Ullmann, F. 2006. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim : Wiley-VCH, 2006. ISBN 3527313184.

Usa Industries Inc. 2017. BWG Boiler & condenser tube size chart. [En línea] 2017. [Citado el: 19 de Septiembre de 2018.] <https://downloads.usaindustries.com/birmingham-wire-gauge-bwg-boiler-condenser-tube-size-chart.pdf>.

Wankat, P. C. 2011. *Separation Process Engineering: includes mass transfer analysis*. Westford, Massachusetts : Prentice Hall, 2011. ISBN 0-13-138227-6.

WIRE TOUGH. 2015. Low cost hydrogen storage at 875 bar using steel liner and steel wire wrap. [En línea] 2015. [Citado el: 18 de Septiembre de 2018.]
https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review15/pd110_prakash_2015_o.pdf.

ANEXO III

Fichas de seguridad

ÍNDICE

1. 1,4-Butanodiol
2. Anhídrido Maleico líquido
3. γ -Butirolactona
4. Hidrógeno comprimido
5. Aceite térmico Mol Thermol 46

1,4-Butanediol
CAS No 110-63-4

MATERIAL SAFETY DATA SHEET
SDS/MSDS

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1 Product identifiers

Product name : **1,4-Butanediol**

CAS-No. : 110-63-4

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses : Laboratory chemicals, Industrial & for professional use only.

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company : Central Drug House (P) Ltd
7/28 Vardaan House
New Delhi-10002
INDIA

Telephone : +91 11 49404040
Email : care@cdhfinechemical.com

1.4 Emergency telephone number

Emergency Phone # : +91 11 49404040 (9:00am - 6:00 pm) [Office hours]

SECTION 2: Hazards identification

2.1 Classification of the substance or mixture

Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008

Acute toxicity, Oral (Category 4), H302

Specific target organ toxicity - single exposure (Category 3), Central nervous system, H336

For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.

2.2 Label elements

Labelling according Regulation (EC) No 1272/2008

Pictogram



Signal word

Warning

Hazard statement(s)

H302

Harmful if swallowed.

H336

May cause drowsiness or dizziness.

Precautionary statement(s)
P301 + P312 + P330 IF SWALLOWED: Call a POISON CENTER/doctor if you feel unwell.
Rinse mouth.

Supplemental Hazard Statements none

2.3 Other hazards

This substance/mixture contains no components considered to be either persistent, bioaccumulative and toxic (PBT), or very persistent and very bioaccumulative (vPvB) at levels of 0.1% or higher.

SECTION 3: Composition/information on ingredients

3.1 Substances

Synonyms : 1,4-Butylene glycol
Tetramethylene glycol

Formula : C₄H₁₀O₂

Molecular weight : 90.12 g/mol

CAS-No. : 110-63-4

EC-No. : 203-786-5

Registration number : 01-2119471849-20-XXXX

Hazardous ingredients according to Regulation (EC) No 1272/2008

Component	Classification	Concentration
Butane-1,4-diol		
CAS-No. 110-63-4	Acute Tox. 4; STOT SE 3;	<= 100 %
EC-No. 203-786-5	H302, H336	

For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.

SECTION 4: First aid measures

4.1 Description of first aid measures

General advice

Consult a physician. Show this safety data sheet to the doctor in attendance.

If inhaled

If breathed in, move person into fresh air. If not breathing, give artificial respiration. Consult a physician.

In case of skin contact

Wash off with soap and plenty of water. Consult a physician.

In case of eye contact

Flush eyes with water as a precaution.

If swallowed

Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water. Consult a physician.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

The most important known symptoms and effects are described in the labelling (see section 2.2) and/or in section 11

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

No data available

SECTION 5: Firefighting measures

5.1 Extinguishing media

Suitable extinguishing media

Use water spray, alcohol-resistant foam, dry chemical or carbon dioxide.

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture

Carbon oxides

5.3 Advice for firefighters

Wear self-contained breathing apparatus for firefighting if necessary.

5.4 Further information

No data available

SECTION 6: Accidental release measures

6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

Use personal protective equipment. Avoid breathing vapours, mist or gas. Ensure adequate ventilation. For personal protection see section 8.

6.2 Environmental precautions

Do not let product enter drains.

6.3 Methods and materials for containment and cleaning up

Soak up with inert absorbent material and dispose of as hazardous waste. Keep in suitable, closed containers for disposal.

6.4 Reference to other sections

For disposal see section 13.

SECTION 7: Handling and storage

7.1 Precautions for safe handling

Avoid contact with skin and eyes. Avoid inhalation of vapour or mist. For precautions see section 2.2.

7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Store in cool place. Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place. Storage class (TRGS 510): Combustible liquids

7.3 Specific end use(s)

Apart from the uses mentioned in section 1.2 no other specific uses are stipulated

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

8.1 Control parameters

Derived No Effect Level (DNEL)

Application Area	Exposure routes	Health effect	Value
Workers	Skin contact	Long-term systemic effects	19mg/kg BW/d
Workers	Inhalation	Long-term systemic effects	136 mg/m3

Predicted No Effect Concentration (PNEC)

Compartment	Value
Soil	0.244 mg/kg
Marine water	0.0813 mg/l
Fresh water	0.813 mg/l
Marine sediment	0.361 mg/kg
Fresh water sediment	3.61 mg/kg
Onsite sewage treatment plant	1554 mg/l
Aquatic intermittent release	8.13 mg/l

8.2 Exposure controls

Appropriate engineering controls

Handle in accordance with good industrial hygiene and safety practice. Wash hands before breaks and at the end of workday.

Personal protective equipment

Eye/face protection

Face shield and safety glasses Use equipment for eye protection tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or EN 166(EU).

Skin protection

Handle with gloves. Gloves must be inspected prior to use. Use proper glove removal technique (without touching glove's outer surface) to avoid skin contact with this product. Dispose of contaminated gloves after use in accordance with applicable laws and good laboratory practices. Wash and dry hands.

Body Protection

Complete suit protecting against chemicals, The type of protective equipment must be selected according to the concentration and amount of the dangerous substance at the specific workplace.

Respiratory protection

Where risk assessment shows air-purifying respirators are appropriate use (US) or type ABEK (EN 14387) respirator cartridges as a backup to enginee protection, use a full-face supplied air respirator. Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU).

Control of environmental exposure

Do not let product enter drains.

SECTION 9: Physical and chemical properties**9.1 Information on basic physical and chemical properties**

a) Appearance	Form: viscous Colour: colourless
b) Odour	No data available
c) Odour Threshold	No data available
d) pH	No data available
e) Melting point/freezing point	Melting point/range: 16 °C - lit.
f) Initial boiling point and boiling range	230 °C - lit.
g) Flash point	134 °C - closed cup
h) Evaporation rate	No data available
i) Flammability (solid, gas)	No data available
j) Upper/lower flammability or explosive limits	No data available
k) Vapour pressure	0.019 hPa at 25 °C - OECD Test Guideline 104
l) Vapour density	3.11 - (Air = 1.0)
m) Relative density	1.017 g/cm ³ at 25 °C - lit.
n) Water solubility	100 g/l at 25 °C - OECD Test Guideline 105 - completely miscible
o) Partition coefficient: n-octanol/water	log Pow: -0.88 at 25 °C - OECD Test Guideline 107
p) Auto-ignition temperature	385 °C at 1,013 hPa
q) Decomposition temperature	No data available
r) Viscosity	83.2 mm ² /s at 20 °C -
s) Explosive properties	No data available
t) Oxidizing properties	No data available

9.2 Other safety information

Dissociation constant	14.5
Relative vapour density	3.11 - (Air = 1.0)

SECTION 10: Stability and reactivity

10.1 Reactivity

No data available

10.2 Chemical stability

Stable under recommended storage conditions.

10.3 Possibility of hazardous reactions

No data available

10.4 Conditions to avoid

No data available

10.5 Incompatible materials

Strong oxidizing agents, Acid chlorides, Acid anhydrides, Reducing agents

10.6 Hazardous decomposition products

Hazardous decomposition products formed under fire conditions. - Carbon oxides
Other decomposition products - No data available
In the event of fire: see section 5

SECTION 11: Toxicological information

11.1 Information on toxicological effects

Acute toxicity

LD50 Oral - Rat - male and female - 1,500 mg/kg(Butane-1,4-diol)
LC50 Inhalation - Rat - male and female - 4 h - > 5.1 mg/l(Butane-1,4-diol)
(OECD Test Guideline 403)
LD50 Dermal - Rat - male and female - > 5,000 mg/kg(Butane-1,4-diol)

Skin corrosion/irritation

Skin - Rabbit(Butane-1,4-diol)
Result: No skin irritation - 24 h

Serious eye damage/eye irritation

Eyes - Rabbit(Butane-1,4-diol)
Result: No eye irritation

Respiratory or skin sensitisation

Maximisation Test - Guinea pig(Butane-1,4-diol)
Result: Does not cause skin sensitisation.

Germ cell mutagenicity

In vitro mammalian cell gene mutation test(Butane-1,4-diol)
Chinese hamster ovary cells
Result: negative

Carcinogenicity

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

Reproductive toxicity

No data available(Butane-1,4-diol)

Specific target organ toxicity - single exposure

May cause drowsiness or dizziness.(Butane-1,4-diol)

Specific target organ toxicity - repeated exposure

No data available

Aspiration hazard

No data available(Butane-1,4-diol)

Additional Information

Repeated dose toxicity - Rat - male and female - Oral - No observed adverse effect level - 50 mg/kg -
Lowest observed adverse effect level - 500 mg/kg(Butane-1,4-diol)

RTECS: Not available

To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.(Butane-1,4-diol)

SECTION 12: Ecological information**12.1 Toxicity**

Toxicity to fish	static test LC50 - Pimephales promelas (fathead minnow) - > 30,000 mg/l - 96 h(Butane-1,4-diol) (OECD Test Guideline 203)
Toxicity to daphnia and other aquatic invertebrates	static test EC50 - Daphnia magna (Water flea) - 813 mg/l - 48 h(Butane-1,4-diol) (OECD Test Guideline 202)
Toxicity to algae	static test EC50 - Desmodesmus subspicatus (Scenedesmus subspicatus) - > 500 mg/l - 72 h(Butane-1,4-diol)

12.2 Persistence and degradability

Biodegradability	aerobic - Exposure time 10 d(Butane-1,4-diol) Result: 90 - 100 % - Readily biodegradable (OECD Test Guideline 302B)
------------------	---

12.3 Bioaccumulative potential

No data available

12.4 Mobility in soil

No data available(Butane-1,4-diol)

12.5 Results of PBT and vPvB assessment

This substance/mixture contains no components considered to be either persistent, bioaccumulative and toxic (PBT), or very persistent and very bioaccumulative (vPvB) at levels of 0.1% or higher.

12.6 Other adverse effects

No data available

SECTION 13: Disposal considerations**13.1 Waste treatment methods****Product**

Offer surplus and non-recyclable solutions to a licensed disposal company.

Contaminated packaging

Dispose of as unused product.

SECTION 14: Transport information

14.1 UN number

ADR/RID: -

IMDG: -

IATA: -

14.2 UN proper shipping name

ADR/RID: Not dangerous goods

IMDG: Not dangerous goods

IATA: Not dangerous goods

14.3 Transport hazard class(es)

ADR/RID: -

IMDG: -

IATA: -

14.4 Packaging group

ADR/RID: -

IMDG: -

IATA: -

14.5 Environmental hazards

ADR/RID: no

IMDG Marine pollutant: no

IATA: no

14.6 Special precautions for user

No data available

SECTION 15: Regulatory information

15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture

This safety datasheet complies with the requirements of Regulation (EC) No. 1907/2006.

15.2 Chemical safety assessment

A Chemical Safety Assessment has been carried out for this substance.

SECTION 16: Other information

Full text of H-Statements referred to under sections 2 and 3.

H302

Harmful if swallowed.

H336

May cause drowsiness or dizziness.

Further information

The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. Central Drug House (P) Ltd and its Affiliates shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See www.cdhfinechemical.com for additional terms and conditions of sale.

Nombre del producto : ANHIDRIDO MALEICO LIQUIDO
Código: 31127

Fecha de emisión: 11/04/2017
Versión: 8

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificador del producto

Nombre : ANHIDRIDO MALEICO LIQUIDO
Nombre REACH : anhídrido maleico
Nombre químico : anhídrido maleico
Familia química : Orgánicos.
Familia química (Observaciones) : Anhídrido del ácido maleico
Fórmula química : C4-H2-O3
Número CAS : 108-31-6
Número CE : 203-571-6
Número REACH : 01-2119472428-31-0011
Número del índice : 607-096-00-9
Código del producto : 31127
Descripción : Anhídrido maleico; cis-butenodioico anhídrido; ácido dicarboxílico cis-butenio; 2.5 furanodiona

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados
Uso como intermedio Fabricación de la sustancia (Fundido, 77 Deg C) Fabricación de la sustancia Fabricación de la sustancia (Fundido, 77 Deg C) Monómero, Uso en el procesamiento de polímeros Monómero, Uso en el procesamiento de polímeros (Fundido, 77 Deg C)

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Proveedor/Fabricante, Distribuidor o Importador : CEPSA Química, S.A.
Torre CEPSA, Paseo de la Castellana 259 A
28046 Madrid - España
Correo electrónico : tuteladeproducto@cepsa.com
productstewardship@cepsa.com
Número de teléfono : +34 913 376 000
Horas de funcionamiento / Limitaciones a la información : 07:30 - 19:30 (CET)

1.4 Teléfono de emergencia 24h

Región / País	Idioma	Número de teléfono
Europa	Inglés, Albanés, Búlgaro, Checo, Danés, Holandés, Finlandés, Francés, Alemán, Griego, Húngaro, Italiano, Lituano, Noruego, Polaco, Portugués, Rumano, Ruso, Serbio-Croata, Eslovaco, Español, Sueco, Turco, Ucraniano	+44 1235 239670
España	Inglés, Español	+34 91 114 2520

Nombre del producto : ANHIDRIDO MALEICO LIQUIDO
Código: 31127

Fecha de emisión: 11/04/2017
Versión: 8

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Definición del producto : Sustancia mono-componente
Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) n.º 1272/2008 [CLP/GHS] : Acute Tox. 4, H302
Skin Corr. 1B, H314
Resp. Sens. 1, H334
Skin Sens. 1, H317
STOT RE 1, H372 (sistema respiratorio) (inhalación)
STOT RE 2, H373 (riñones)

El producto está clasificado como peligroso según el Reglamento (CE) 1272/2008 con las enmiendas correspondientes.

Consultar en la Sección 16 el texto completo de las frases H arriba declaradas.

En caso de requerir información más detallada relativa a los síntomas y efectos sobre la salud, consulte en la Sección 11.

2.2 Elementos de la etiqueta

Pictogramas de peligro :



Palabra de advertencia : Peligro

Indicaciones de peligro : H302 - Nocivo en caso de ingestión.
H314 - Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
H334 - Puede provocar síntomas de alergia o asma o dificultades respiratorias en caso de inhalación.
H317 - Puede provocar una reacción alérgica en la piel.
H372 - Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas por inhalación. (sistema respiratorio)
H373 - Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas. (riñones)

Consejos de prudencia

Prevención : P280 - Llevar guantes de protección. Llevar gafas o máscara de protección: Recomendado: Gafas protectoras ajustadas. Llevar prendas de protección: Recomendado: Use equipo protector adecuado. Llevar guantes de protección..
P260 - No respirar los vapores.

Respuesta : P304 + P340 + P310 - EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. Llamar inmediatamente a un centro de información toxicológica o a un médico.
P301 + P310 + P331 - EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar inmediatamente a un centro de información toxicológica o a un médico. NO provocar el vómito.
P303 + P361 + P353 + P310 - EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua o ducharse. Llamar inmediatamente a un centro de información toxicológica o a un médico.
P305 + P310 - EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Llamar inmediatamente a un centro de información toxicológica o a un médico.

Almacenamiento : P405 - Guardar bajo llave.

Eliminación : P501 - Eliminar el contenido y el recipiente de acuerdo con las normativas locales, regionales, nacionales e internacionales.

Ingredientes peligrosos : anhídrido maleico

Nombre del producto : ANHIDRIDO MALEICO LIQUIDO
Código: 31127

Fecha de emisión: 11/04/2017
Versión: 8

Elementos suplementarios : EUH071 - Corrosivo para las vías respiratorias.
que deben figurar en las
etiquetas

Anexo XVII - Restricciones : No aplicable.
a la fabricación, la
comercialización y el uso
de determinadas
sustancias, mezclas y
artículos peligrosos

Requisitos especiales de envasado

Recipientes que deben ir : No aplicable.
provistos de un cierre de
seguridad para niños

Advertencia de peligro : No aplicable.
táctil

2.3 Otros peligros

La sustancia cumple los : No disponible.
criterios de PBT según el
Reglamento (CE) n.º.
1907/2006, Anexo XIII

La sustancia cumple los : No disponible.
criterios de mPmB según
el Reglamento (CE) n.º.
1907/2006, Anexo XIII

Otros peligros que no : No se conoce ninguno.
conducen a una
clasificación

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias : Sustancia mono-componente
Descripción : Anhídrido maleico; cis-butenodioico anhídrido; ácido dicarboxílico cis-butenio; 2.5
furanodiona

Nombre del producto o ingrediente	Identificadores	%	Reglamento (CE) n.º. 1272/2008 [CLP]	Tipo
anhídrido maleico	REACH #: 01-2119472428-31 CE: 203-571-6 CAS: 108-31-6 Índice: 607-096-00-9	99.5	Acute Tox. 4, H302 Skin Corr. 1B, H314 Resp. Sens. 1, H334 Skin Sens. 1, H317 STOT RE 1, H372 (sistema respiratorio) (inhalación) STOT RE 2, H373 (riñones) EUH071	[A]

Consultar en la Sección 16 el texto completo de las frases H arriba declaradas.

No hay presentes componentes adicionales que, según el conocimiento actual del proveedor, estén clasificados y contribuyan a la clasificación de la sustancia y por tanto requieran notificación en este apartado.

Tipo

Nombre del producto : ANHIDRIDO MALEICO LIQUIDO

Fecha de emisión: 11/04/2017

Código: 31127

Versión: 8

[A] Constituyente

[B] Impureza

[C] Aditivo de estabilización

Los límites de exposición laboral, en caso de existir, figuran en la sección 8.

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

- Contacto con los ojos** : Obtenga atención médica inmediatamente. Llamar a un centro de información toxicológica o a un médico. Enjuagar los ojos inmediatamente con mucha agua, levantando de vez en cuando los párpados superior e inferior. Verificar si la víctima lleva lentes de contacto y en este caso, retirárselas. Continúe enjuagando por lo menos durante 10 minutos. Las quemaduras químicas se deben tratar inmediatamente por un médico.
- Inhalación** : Obtenga atención médica inmediatamente. Llamar a un centro de información toxicológica o a un médico. Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar. Si se sospecha que los vapores continúan presentes, la persona encargada del rescate deberá usar una máscara adecuada o un aparato de respiración autónoma. Si no hay respiración, ésta es irregular u ocurre un paro respiratorio, el personal capacitado debe proporcionar respiración artificial u oxígeno. Puede ser peligroso para la persona que proporcione ayuda aplicar la respiración boca-a-boca. Si está inconsciente, coloque en posición de recuperación y consiga atención médica inmediatamente. Asegure una buena circulación de aire. Aflojar todo lo que pudiera estar apretado, como el cuello de una camisa, una corbata, un cinturón. En el caso de que existan molestias o síntomas, evite más exposición.
- Contacto con la piel** : Obtenga atención médica inmediatamente. Llamar a un centro de información toxicológica o a un médico. Lavar con agua y jabón abundantes. Quítese la ropa y calzado contaminados. Lave bien la ropa contaminada con agua antes de quitársela, o use guantes. Continúe enjuagando por lo menos durante 10 minutos. Las quemaduras químicas se deben tratar inmediatamente por un médico. En el caso de que existan molestias o síntomas, evite más exposición. Lavar la ropa antes de volver a usarla. Limpiar completamente el calzado antes de volver a usarlo.
- Ingestión** : Obtenga atención médica inmediatamente. Llamar a un centro de información toxicológica o a un médico. Lave la boca con agua. Retirar las prótesis dentales si es posible. Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar. Si se ha ingerido material y la persona expuesta está consciente, suminístrele pequeñas cantidades de agua para beber. Deje de proporcionarle agua si la persona expuesta se encuentra mal ya que los vómitos pueden ser peligrosos. No inducir al vómito a menos que lo indique expresamente el personal médico. Si vomita, mantener la cabeza baja de manera que el vómito no entre en los pulmones. Las quemaduras químicas se deben tratar inmediatamente por un médico. No suministrar nada por vía oral a una persona inconsciente. Si está inconsciente, coloque en posición de recuperación y consiga atención médica inmediatamente. Asegure una buena circulación de aire. Aflojar todo lo que pudiera estar apretado, como el cuello de una camisa, una corbata, un cinturón.
- Protección del personal de primeros auxilios** : No se debe realizar ninguna acción que suponga un riesgo personal o sin formación adecuada. Si se sospecha que los vapores continúan presentes, la persona encargada del rescate deberá usar una máscara adecuada o un aparato de respiración autónoma. Puede ser peligroso para la persona que proporcione ayuda aplicar la respiración boca-a-boca. Lave bien la ropa contaminada con agua antes de quitársela, o use guantes.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Signos/síntomas de sobreexposición

Nombre del producto : ANHIDRIDO MALEICO LIQUIDO

Fecha de emisión: 11/04/2017

Código: 31127

Versión: 8

- Contacto con los ojos** : Los síntomas adversos pueden incluir los siguientes:
dolor
lagrimeo
enrojecimiento
- Inhalación** : Los síntomas adversos pueden incluir los siguientes:
irritación del tracto respiratorio
tos
Jadeos y dificultades para respirar
asma
- Contacto con la piel** : Los síntomas adversos pueden incluir los siguientes:
dolor o irritación
enrojecimiento
puede provocar la formación de ampollas
- Ingestión** : Los síntomas adversos pueden incluir los siguientes:
dolores gástricos

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

- Notas para el médico** : Tratar sintomáticamente. Contactar un especialista en tratamientos de envenenamientos inmediatamente si se ha ingerido o inhalado una gran cantidad.
- Tratamientos específicos** : No hay un tratamiento específico.

SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

- Apropiado(s)** : En caso de incendio, utilizar agua pulverizada.
- No apropiado(s)** : No usar polvo químico seco

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

- Peligros derivados de la sustancia o mezcla** : La presión puede aumentar y el contenedor puede explotar en caso de calentamiento o incendio.
- Productos de descomposición térmica peligrosos** : Los productos de descomposición pueden incluir los siguientes materiales:
dióxido de carbono
monóxido de carbono

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

- Medidas especiales que deben tomar los equipos de lucha contra incendios** : En caso de incendio, aislar rápidamente la zona, evacuando a todas las personas de las proximidades del lugar del incidente. No se debe realizar ninguna acción que suponga un riesgo personal o sin formación adecuada.
- Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios** : Los bomberos deben llevar equipo de protección apropiado y un equipo de respiración autónomo con una máscara facial completa que opere en modo de presión positiva. Las prendas para bomberos (incluidos cascos, guantes y botas de protección) conformes a la norma europea EN 469 proporcionan un nivel básico de protección en caso de incidente químico.
- Medidas de lucha contra incendios** : Las mezclas de aire/vapor pueden ser explosivas. Use equipo protector adecuado.

Nombre del producto : ANHIDRIDO MALEICO LIQUIDO
Código: 31127

Fecha de emisión: 11/04/2017
Versión: 8

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

- Para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia** : No se debe realizar ninguna acción que suponga un riesgo personal o sin formación adecuada. Evacuar los alrededores. No deje que entre el personal innecesario y sin protección. No toque o camine sobre el material derramado. No respire los vapores o nieblas. Proporcione ventilación adecuada. Llevar un aparato de respiración apropiado cuando el sistema de ventilación sea inadecuado. Llevar puesto un equipo de protección individual adecuado.
- Para el personal de emergencia** : Si se necesitan prendas especiales para gestionar el vertido, tomar en cuenta las informaciones recogidas en la Sección 8 en relación a los materiales adecuados y no adecuados. Consultar también la información mencionada en "Para personal de no emergencia".

- 6.2 Precauciones relativas al medio ambiente** : Evitar la dispersión del material derramado, su contacto con el suelo, las vías fluviales, las tuberías de desagüe y las alcantarillas. Informar a las autoridades pertinentes si el producto ha causado contaminación medioambiental (alcantarillas, vías fluviales, suelo o aire).

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

- Derrame pequeño** : Detener la fuga si esto no presenta ningún riesgo. Retire los envases del área del derrame. Diluir con agua y fregar si es soluble en agua. Alternativamente, o si es insoluble en agua, absorber con un material seco inerte y colocar en un contenedor de residuos adecuado. Para la eliminación use un contratista autorizado.
- Gran derrame** : Detener la fuga si esto no presenta ningún riesgo. Retire los envases del área del derrame. Aproximarse al vertido en el sentido del viento. Evite que se introduzca en alcantarillas, canales de agua, sótanos o áreas reducidas. Lave los vertidos hacia una planta de tratamiento de efluentes o proceda como se indica a continuación. Detener y recoger los derrames con materiales absorbentes no combustibles, como arena, tierra, vermiculita o tierra de diatomeas, y colocar el material en un envase para desecharlo de acuerdo con las normativas locales. Para la eliminación use un contratista autorizado. El material absorbente contaminado puede presentar el mismo riesgo que el producto derramado.

- 6.4 Referencia a otras secciones** : Consultar en la Sección 1 la información de contacto en caso de emergencia. Consultar en la Sección 8 la información relativa a equipos de protección personal apropiados. Consulte en la Sección 13 la información adicional relativa al tratamiento de residuos.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

La información recogida en este apartado contiene datos y orientación de naturaleza genérica. Se debe consultar la lista de Usos identificados de la Sección 1 para recabar la información específica de uso disponible que se recoge bajo Escenario(s) de exposición si la sustancia los tuviese.

7.1 Precauciones para una manipulación segura

- Medidas de protección** : Usar un equipo de protección personal adecuado (Consultar Sección 8). Personas con un historial de problemas de sensibilización de la piel o asma, alergias o enfermedades respiratorias crónicas o recurrentes no deberían ser empleadas en cualquier proceso en el cual este producto es utilizado. No introducir en ojos en la piel o en la ropa. No respire los vapores o nieblas. No ingerir. Use sólo con ventilación adecuada. Llevar un aparato de respiración apropiado cuando el sistema de ventilación sea inadecuado. Consérvese en su envase original o en uno alternativo aprobado fabricado en un material compatible, manteniéndose bien cerrado cuando no esté en uso. Los envases vacíos retienen residuos del producto y pueden ser peligrosos. No vuelva a usar el envase.

Nombre del producto : ANHIDRIDO MALEICO LIQUIDO

Fecha de emisión: 11/04/2017

Código: 31127

Versión: 8

Información relativa a higiene en el trabajo de forma general : Deberá prohibirse comer, beber o fumar en los lugares donde se manipula, almacena o trata este producto. Los trabajadores deberán lavarse las manos y la cara antes de comer, beber o fumar. Retirar el equipo de protección y las ropas contaminadas antes de acceder a zonas donde se coma. Consultar también en la Sección 8 la información adicional sobre medidas higiénicas.

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Conservar de acuerdo con las normativas locales. Almacenar en el contenedor original protegido de la luz directa del sol en un área seca, fresca y bien ventilada, separado de materiales incompatibles (ver Sección 10) y comida y bebida. Guardar bajo llave. Mantener el contenedor bien cerrado y sellado hasta el momento de usarlo. Los envases abiertos deben cerrarse perfectamente con cuidado y mantenerse en posición vertical para evitar derrames. No almacenar en contenedores sin etiquetar. Utilícese un envase de seguridad adecuado para evitar la contaminación del medio ambiente.

7.3 Usos específicos finales

Recomendaciones : No disponible.

Soluciones específicas del sector industrial : No disponible.

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

La información recogida en este apartado contiene datos y orientación de naturaleza genérica. Se debe consultar la lista de Usos identificados de la Sección 1 para recabar la información específica de uso disponible que se recoge bajo Escenario(s) de exposición si la sustancia los tuviese.

8.1 Parámetros de control

Límites de exposición profesional

Nombre del producto o ingrediente	Valores límite de la exposición
anhídrido maleico	INSHT (España, 1/2017). Sensibilizante por contacto con la piel. Sensibilizante si se inhala. VLA-ED: 0,1 ppm 8 horas. VLA-ED: 0,4 mg/m ³ 8 horas.

Procedimientos recomendados de control : Si este producto contiene ingredientes con límites de exposición, puede ser necesaria la supervisión personal, del ambiente de trabajo o biológica para determinar la efectividad de la ventilación o de otras medidas de control y/o la necesidad de usar un equipo de protección respiratoria. Deben utilizarse como referencia normas de monitorización como las siguientes: Norma europea EN 689 (Atmósferas en los lugares de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de medición) Norma europea EN 14042 (Atmósferas en los lugares de trabajo. Directrices para la aplicación y uso de procedimientos para evaluar la exposición a agentes químicos y biológicos) Norma europea EN 482 (Atmósferas en los lugares de trabajo. Requisitos generales relativos al funcionamiento de los procedimientos para la medida de agentes químicos) Deberán utilizarse asimismo como referencia los documentos de orientación nacionales relativos a métodos de determinación de sustancias peligrosas.

Niveles sin efecto derivado

Nombre del producto : ANHIDRIDO MALEICO LIQUIDO

Fecha de emisión: 11/04/2017

Código: 31127

Versión: 8

Nombre del producto o ingrediente	Tipo	Exposición	Valor	Población	Efectos
anhídrido maleico	DNEL	Corto plazo Dérmica	0,04 mg/ kg bw/día	Trabajadores	Sistémico
	DNEL	Corto plazo Inhalación	0,8 mg/m³	Trabajadores	Sistémico
	DNEL	Corto plazo Dérmica	0,04 mg/ cm²	Trabajadores	Local
	DNEL	Corto plazo Inhalación	0,8 mg/m³	Trabajadores	Local
	DNEL	Largo plazo Dérmica	0,04 mg/ kg bw/día	Trabajadores	Sistémico
	DNEL	Largo plazo Inhalación	0,4 mg/m³	Trabajadores	Sistémico
	DNEL	Largo plazo Dérmica	0,04 mg/ cm²	Trabajadores	Local
	DNEL	Largo plazo Inhalación	0,4 mg/m³	Trabajadores	Local

Concentraciones previstas con efecto

Nombre del producto o ingrediente	Tipo	Detalles de compartimento	Valor	Detalles del método
anhídrido maleico	PNEC	Agua dulce	0,04281 mg/l	Factores de evaluación
	PNEC	Marino	0,004281 mg/l	Factores de evaluación
	PNEC	Agua dulce	0,4281 mg/l	-
	PNEC	Planta de tratamiento de aguas residuales	44,6 mg/l	Factores de evaluación
	PNEC	Sedimento de agua dulce	0,334 mg/kg	Factores de evaluación
	PNEC	Sedimento de agua marina	0,0334 mg/kg	Factores de evaluación
	PNEC	Suelo	0,0415 mg/kg	Factores de evaluación

8.2 Controles de la exposición
Controles técnicos apropiados

: Use sólo con ventilación adecuada. Si la operación genera polvo, humos, gas, vapor o llovizna, use cercamientos del proceso, ventilación local, u otros controles de ingeniería para mantener la exposición del obrero a los contaminantes aerotransportados por debajo de todos los límites recomendados o estatutarios.

Medidas de protección individual
Medidas higiénicas

: Lave las manos, antebrazos y cara completamente después de manejar productos químicos, antes de comer, fumar y usar el lavabo y al final del período de trabajo. Usar las técnicas apropiadas para eliminar ropa contaminada. Las prendas de trabajo contaminadas no podrán sacarse del lugar de trabajo. Lavar las ropas contaminadas antes de volver a usarlas. Verifique que las estaciones de lavado de ojos y duchas de seguridad se encuentren cerca de las estaciones de trabajo.

Protección de los ojos/la cara

: Se debe usar un equipo protector ocular que cumpla con las normas aprobadas cuando una evaluación del riesgo indique que es necesario, a fin de evitar toda exposición a salpicaduras del líquido, lloviznas, gases o polvos. Si es posible el contacto, se debe utilizar la siguiente protección, salvo que la valoración indique un grado de protección más alto: gafas contra salpicaduras químicas y/o pantalla facial. Si existe riesgo de inhalación, puede ser necesario utilizar en su lugar un respirador con careta completa. Recomendado: Gafas protectoras ajustadas

Protección de la piel

Nombre del producto : ANHIDRIDO MALEICO LIQUIDO

Fecha de emisión: 11/04/2017

Código: 31127

Versión: 8

- Protección de las manos** : Si una evaluación del riesgo indica que es necesario, se deben usar guantes químico-resistentes e impenetrables que cumplan con las normas aprobadas siempre que se manejen productos químicos. Tomando en consideración los parámetros especificados por el fabricante de los guantes, comprobar durante el uso que los guantes siguen conservando sus propiedades protectoras. Hay que observar que el tiempo de paso de cualquier material utilizado con guantes puede ser diferente para distintos fabricantes de guantes. En el caso de mezclas, consistentes en varias sustancias, no es posible estimar de manera exacta, el tiempo de protección que ofrecen los guantes.
- Protección corporal** : Antes de utilizar este producto se debe seleccionar equipo protector personal para el cuerpo basándose en la tarea a ejecutar y los riesgos involucrados y debe ser aprobado por un especialista. Recomendado: Use equipo protector adecuado. Llevar guantes de protección.
- Otro tipo de protección cutánea** : Se deben elegir el calzado adecuado y cualquier otra medida de protección cutánea necesaria dependiendo de la tarea que se lleve a cabo y de los riesgos implicados. Tales medidas deben ser aprobadas por un especialista antes de proceder a la manipulación de este producto. Recomendado: Calzado protector adecuado.
- Protección respiratoria** : Basándose en la evaluación de los riesgos y la exposición, seleccionar un respirador que satisfaga los estándares o certificaciones apropiados. Los respiradores deben usarse de conformidad con un programa de protección respiratoria para asegurar su adecuación, formación y otros aspectos del buen uso. Recomendado: Si las condiciones de funcionamiento provocan altas concentraciones de vapor o se excede el TLV, utilice una careta de respiración de aire puro.
- Controles de exposición medioambiental** : Se deben verificar las emisiones de los equipos de ventilación o de los procesos de trabajo para verificar que cumplen con los requisitos de la legislación de protección del medio ambiente. En algunos casos para reducir las emisiones hasta un nivel aceptable, será necesario usar depuradores de humo, filtros o modificar el diseño del equipo del proceso.

SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

- Estado físico** : Líquido. [Cristales.]
- Color** : Incoloro. Blanco.
- Olor** : Acre.
- Umbral olfativo** : No disponible.
- pH** : No disponible.
- Punto de fusión/punto de congelación** : 51°C
- Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición** : 185°C
- Punto de inflamación** : Vaso cerrado: 102°C
Vaso abierto: 105°C
- Tasa de evaporación** : No disponible.
- Inflamabilidad (sólido, gas)** : No disponible.
- Tiempo de Combustión** : No aplicable.
- Velocidad de Combustión** : No aplicable.
- Límites superior/inferior de inflamabilidad o de explosividad** : Punto mínimo: 1,3%
Punto máximo: 7,2%
- Presión de vapor** : 0,033 kPa [temperatura ambiente]
- Densidad de vapor** : 3,4 [Aire= 1]

Nombre del producto : ANHIDRIDO MALEICO LIQUIDO

Fecha de emisión: 11/04/2017

Código: 31127

Versión: 8

Densidad relativa	: 0,9
Densidad	: 1,5 g/cm ³
Solubilidad(es)	: Parcialmente soluble en los siguientes materiales: agua fría y agua caliente.
Solubilidad en agua	: 402 g/l
Coefficiente de reparto: n-octanol/agua	: -2,78
Temperatura de auto-inflamación	: 477°C
Temperatura de descomposición	: 285°C
Viscosidad	: No disponible.
Propiedades explosivas	: No disponible.
Propiedades comburentes	: No disponible.

9.2 Otros datos

Peso molecular : 98,06 g/mol

Calor de combustión : -13,81 kJ/g

Ninguna información adicional.

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad	: No hay datos de ensayo disponibles sobre la reactividad de este producto o sus componentes.
10.2 Estabilidad química	: El producto es estable.
10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas	: En condiciones normales de almacenamiento y uso, no se producen reacciones peligrosas.
10.4 Condiciones que deben evitarse	: Ningún dato específico.
10.5 Materiales incompatibles	: Ningún dato específico.
10.6 Productos de descomposición peligrosos	: En condiciones normales de almacenamiento y uso, no se deberían formar productos de descomposición peligrosos.

SECCIÓN 11. Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda

Nombre del producto : ANHÍDRIDO MALEICO LIQUIDO

Fecha de emisión: 11/04/2017

Código: 31127

Versión: 8

Nombre del producto o ingrediente	Resultado	Especies	Dosis	Exposición
anhídrido maleico	CL50 Inhalación Vapor	Ratón	>4,35 mg/l	1 horas
	CL50 Inhalación Vapor	Rata	>4,35 mg/l	1 horas
	DL50 Dérmica	Conejo	2620 mg/kg	-
	DL50 Oral	Rata	400 mg/kg	-
	DL50 Oral	Rata	1220 mg/kg	-
	DL50 Oral	Rata	1030 mg/kg	-
	DL50 Oral	Rata	1090 mg/kg	-
	DL50 Oral	Rata	1090 mg/kg	-

Conclusión/resumen : No disponible.

Irritación/Corrosión

Nombre del producto o ingrediente	Resultado	Especies	Puntuación	Exposición	Observación
anhídrido maleico	Ojos - Muy irritante	Conejo	-	1 Percent	-
	Piel - Irritante	Conejo	-	-	-
	Ojos - Irritante	Conejo	-	-	-

Conclusión/resumen:

Ojos : Provoca quemaduras en los ojos.

Piel : Corrosivo para la piel.

Respiratoria : Irritación de las vías respiratorias. Una sobreexposición puede causar tos, dolores pectorales y dificultad al respirar.

Sensibilización

Nombre del producto o ingrediente	Vía de exposición	Especies	Resultado
anhídrido maleico	piel	Ratón	Sensibilizante
	piel	Cobaya	Sensibilizante

Conclusión/resumen:

Piel : Puede causar sensibilización de la piel.

Respiratoria : Ocasiona sensibilización por inhalación.

Mutagénesis

Nombre del producto o ingrediente	Prueba	Experimento	Resultado
anhídrido maleico	OECD 476 476 <i>In vitro</i> célula de ensayo de mutación génica en mamíferos.	Experimento: In vitro Sujeto: Bacteria	Negativo
	OECD 473 473 <i>In vitro</i> Mammalian Chromosomal Aberration Test	Experimento: In vitro Sujeto: Bacteria	Negativo

Conclusión/resumen : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Carcinogenicidad

Nombre del producto o ingrediente	Resultado	Especies	Dosis	Exposición
anhídrido maleico	Negativo - Oral - TC	Rata	≥100 mg/kg	2 años; 7 días por semana

Conclusión/resumen : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Toxicidad para la reproducción

Nombre del producto : ANHÍDRIDO MALEICO LIQUIDO

Fecha de emisión: 11/04/2017

Código: 31127

Versión: 8

Nombre del producto o ingrediente	Toxicidad materna	Fertilidad	Tóxico para el desarrollo	Especies	Dosis	Exposición
anhídrido maleico	Negativo	Negativo	Negativo	Rata	Oral: 55 mg/kg	-

Conclusión/resumen : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.**Teratogenicidad**

Nombre del producto o ingrediente	Resultado	Especies	Dosis	Exposición
anhídrido maleico	Negativo - Oral	Rata	≥140 mg/kg	-

Conclusión/resumen : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.**Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) – exposición única**

No disponible.

Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) – exposición repetida

Nombre del producto o ingrediente	Categoría	Vía de exposición	Órganos destino
anhídrido maleico	Categoría 1 Categoría 2	Inhalación No determinado	sistema respiratorio riñones

Peligro de aspiración

No disponible.

Información sobre posibles vías de exposición : No disponible.**Efectos agudos potenciales para la salud****Contacto con los ojos** : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.**Inhalación** : EUH071 - Corrosivo para las vías respiratorias.
Provoca quemaduras. Puede provocar síntomas de alergia o asma o dificultades respiratorias en caso de inhalación.**Contacto con la piel** : Provoca quemaduras graves. Puede provocar una reacción alérgica en la piel.**Ingestión** : Nocivo en caso de ingestión.**Síntomas relacionados con las características físicas, químicas y toxicológicas****Contacto con los ojos** : Los síntomas adversos pueden incluir los siguientes:
dolor
lagrimeo
enrojecimiento**Inhalación** : Los síntomas adversos pueden incluir los siguientes:
irritación del tracto respiratorio
tos
Jadeos y dificultades para respirar
asma**Contacto con la piel** : Los síntomas adversos pueden incluir los siguientes:
dolor o irritación
enrojecimiento
puede provocar la formación de ampollas**Ingestión** : Los síntomas adversos pueden incluir los siguientes:
dolores gástricos**Efectos retardados e inmediatos, así como efectos crónicos producidos por una exposición a corto y largo plazo**

Nombre del producto : ANHIDRIDO MALEICO LIQUIDO

Fecha de emisión: 11/04/2017

Código: 31127

Versión: 8

Exposición a corto plazo

Posibles efectos inmediatos : No disponible.

Posibles efectos retardados : No disponible.

Exposición a largo plazo

Posibles efectos inmediatos : No disponible.

Posibles efectos retardados : No disponible.

Efectos crónicos potenciales para la salud

Nombre del producto o ingrediente	Resultado	Especies	Dosis	Exposición
anhídrido maleico	Crónico LOAEL Oral	Rata	250 mg/kg	183 días; 5 días por semana
	Crónico NOAEL Oral	Perro	60 mg/kg	60 días; 7 días por semana
	Crónico NOAEL Oral	Rata	10 mg/kg	-
	Crónico LOEL Oral	Rata	32 mg/kg	-
	Crónico NOEL Oral	Rata	100 mg/kg	-
	Crónico NOAEL Oral	Rata	3,3 mg/kg	183 días; 7 días por semana
	Crónico LOAEL Inhalación Vapor	Rata	9,8 mg/m³	183 días; 7 días por semana

Conclusión/resumen : Puede provocar síntomas de alergia o asma o dificultades respiratorias en caso de inhalación.

General : Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas por inhalación. Una vez producida la sensibilización, podría observarse una reacción alérgica grave al exponerse posteriormente a niveles muy bajos.

Carcinogenicidad : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Mutagénesis : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Teratogenicidad : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Efectos de desarrollo : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Efectos sobre la fertilidad : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Otros datos : No disponible.

SECCIÓN 12. Información ecológica

12.1 Toxicidad

Nombre del producto o ingrediente	Resultado	Especies	Exposición
anhídrido maleico	Agudo CL50 75 mg/l Agua dulce	Peces - Lepomis macrochirus	96 horas
	Agudo CL50 106 mg/l	Peces - Leuciscus idus	48 horas
	Agudo CL50 115 mg/l	Peces - Leuciscus idus	48 horas
	Agudo CL50 75 mg/l Agua dulce	Peces - Salmo g.	96 horas

Conclusión/resumen : No disponible.

12.2 Persistencia y degradabilidad

Nombre del producto : ANHÍDRIDO MALEICO LIQUIDO

Fecha de emisión: 11/04/2017

Código: 31127

Versión: 8

Nombre del producto o ingrediente	Prueba	Resultado	Dosis	Inóculo
anhídrido maleico	OECD 301E 301E Ready Biodegradability - Modified OECD Screening Test	93 % - 21 días	-	-
	OECD 301B 301B Biodegradabilidad - CO ₂ Prueba de Evolución	>90 % - 25 días	-	-
	OECD 301E 301E Ready Biodegradability - Modified OECD Screening Test	81 % - 28 días	-	-
	OECD 301C 301C Ready Biodegradability - Modified MITI Test (I)	55 % - Inherente - 14 días	-	-

Nombre del producto o ingrediente	Vida media acuática	Fotólisis	Biodegradabilidad
anhídrido maleico	-	-	Fácil

Conclusión/resumen : No disponible.

12.3 Potencial de bioacumulación

Nombre del producto o ingrediente	LogP _{ow}	FBC	Potencial
anhídrido maleico	-2,78	-	bajo

12.4 Movilidad en el suelo

Coefficiente de partición tierra/agua (K_{oc}) : No disponible.

Movilidad : No disponible.

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

PBT : No disponible.
P: No aplicable. B: No aplicable. T: Sí.

mPmB : No disponible.
mP: No aplicable. mB: No aplicable.

12.6 Otros efectos adversos : No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Nombre del producto : ANHÍDRIDO MALEICO LIQUIDO
Código: 31127

Fecha de emisión: 11/04/2017
Versión: 8

SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación

La información recogida en este apartado contiene datos y orientación de naturaleza genérica. Se debe consultar la lista de Usos identificados de la Sección 1 para recabar la información específica de uso disponible que se recoge bajo Escenario(s) de exposición si la sustancia los tuviese.

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Producto

Métodos de eliminación : Evitar o minimizar la generación de residuos cuando sea posible. La eliminación de este producto, sus soluciones y cualquier derivado deben cumplir siempre con los requisitos de la legislación de protección del medio ambiente y eliminación de desechos y todos los requisitos de las autoridades locales. Desechar los sobrantes y productos no reciclables por medio de un constraista autorizado a su eliminación. Los residuos no se deben tirar por la alcantarilla sin tratar a menos que sean compatibles con los requisitos de todas las autoridades con jurisdicción.





Residuos Peligrosos : La clasificación del producto puede cumplir los criterios de mercancía peligrosa.

Empaquetado

Métodos de eliminación : Evitar o minimizar la generación de residuos cuando sea posible. Los envases residuales deben reciclarse. Sólo se deben contemplar la incineración o el enterramiento cuando el reciclaje no sea factible.

Precauciones especiales : Elimínense los residuos del producto y sus recipientes con todas las precauciones posibles. Deben tomarse precauciones cuando se manipulen recipientes vaciados que no hayan sido limpiados o enjuagados. Los envases vacíos o los revestimientos pueden retener residuos del producto. Evitar la dispersión del material derramado, su contacto con el suelo, las vías fluviales, las tuberías de desagüe y las alcantarillas.

SECCIÓN 14. Información relativa al transporte

	ADR/RID	ADN	IMDG	IATA
14.1 Número ONU	UN2215	UN2215	UN2215	UN2215
14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas	ANHÍDRIDO MALEICO FUNDIDO	MALEIC ANHYDRIDE, MOLTEN	MALEIC ANHYDRIDE, MOLTEN	Maleic anhydride
14.3 Clase(s) de peligro para el transporte	8 	8 	8 	8 
14.4 Grupo de embalaje	III	III	III	III
14.5 Peligros para el medio ambiente	No.	No.	No.	No.
Información adicional	<u>Número de identificación de peligros</u> 80 <u>Cantidad limitada</u> 0 <u>Código para túneles</u>	-	<u>Emergency schedules (EmS)</u> F-A, S-B	<u>Passenger and Cargo Aircraft</u> Quantity limitation: 25 kg Packaging instructions: 860 <u>Cargo Aircraft Only</u> Quantity limitation: 100 kg

Nombre del producto : ANHIDRIDO MALEICO LIQUIDO
Código: 31127

Fecha de emisión: 11/04/2017
Versión: 8

	(E)			Packaging instructions: 864 Limited Quantities - Passenger Aircraft Quantity limitation: 5 kg Packaging instructions: Y845 Special provisions A803
--	-----	--	--	---

14.6 Precauciones particulares para los usuarios : **Transporte dentro de las premisas de usuarios:** siempre transporte en recipientes cerrados que estén verticales y seguros. Asegurar que las personas que transportan el producto conocen qué hacer en caso de un accidente o derrame.

14.7 Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio MARPOL y el Código IBC

Nombre y descripción : MALEIC ANHYDRIDE
Tipo de barco : 3
Categoría de contaminación : Y
Observaciones : No disponible.

SECCIÓN 15. Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

Reglamento de la UE (CE) n.º. 1907/2006 (REACH)
Reglamento (CE) n.º. 1272/2008 [CLP]
Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques MARPOL 73 en su forma enmendada.
Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (Código IMDG) conforme al capítulo VII del Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar, 1974.

Anexo XIV - Lista de sustancias sujetas a autorización

Anexo XIV

Ninguno de los componentes está listado.

Sustancias altamente preocupantes

Ninguno de los componentes está listado.

Anexo XVII - : No aplicable.

Restricciones a la fabricación, la comercialización y el uso de determinadas sustancias, mezclas y artículos peligrosos

Otras regulaciones de la UE

Inventario de Europa : Este material está listado o está exento.

Sustancias destructoras de la capa de ozono (1005/2009/UE)

No inscrito.

Consentimiento informado previo (PIC) (649/2012/UE)

No inscrito.

Directiva Seveso

Nombre del producto : ANHIDRIDO MALEICO LIQUIDO
Código: 31127

Fecha de emisión: 11/04/2017
Versión: 8

Este producto no está controlado bajo la Directiva Seveso.

Regulaciones Internacionales

Sustancias químicas incluidas en la lista I, II y III de la Convención sobre armas químicas

No inscrito.

Protocolo de Montreal (Anexos A, B, C, E)

No inscrito.

Convenio de Estocolmo sobre los contaminantes orgánicos persistentes

No inscrito.

Convención de Rotterdam sobre el consentimiento informado previo (CIP)

No inscrito.

Protocolo de Aarhus sobre metales pesados y COP de la CEPE

No inscrito.

Listas internacionales

Inventario nacional

Australia	: Este material está listado o está exento.
Canadá	: Este material está listado o está exento.
China	: Este material está listado o está exento.
Japón	: Inventario de Sustancias de Japón (ENCS): Este material está listado o está exento. Inventario de Sustancias de Japón (ISHL): Este material está listado o está exento.
Malasia	: Este material está listado o está exento.
Nueva Zelandia	: Este material está listado o está exento.
Filipinas	: Este material está listado o está exento.
República de Corea	: Este material está listado o está exento.
Taiwán	: Este material está listado o está exento.
Turquía	: Este material está listado o está exento.
Estados Unidos	: Este material está listado o está exento.

15.2 Evaluación de la seguridad química : Completa.

SECCIÓN 16. Otra información

🔍 Marca: Indica la información que ha cambiado desde la edición de la versión anterior.

Abreviaturas y acrónimos : ETA = Estimación de Toxicidad Aguda
CLP = Reglamento sobre Clasificación, Etiquetado y Envasado [Reglamento (CE) No 1272/2008]
DNEL = Nivel sin efecto derivado
Indicación EUH = Indicación de Peligro específica del CLP
PNEC = Concentración Prevista Sin Efecto
RRN = Número de Registro REACH

Procedimiento utilizado para deducir la clasificación según el Reglamento (CE) n.º. 1272/2008 [CLP/SGA]

Nombre del producto : ANHIDRIDO MALEICO LIQUIDO

Fecha de emisión: 11/04/2017

Código: 31127

Versión: 8

Clasificación	Justificación
Acute Tox. 4, H302 Skin Corr. 1B, H314 Resp. Sens. 1, H334 Skin Sens. 1, H317 STOT RE 1, H372 (sistema respiratorio) (inhalación) STOT RE 2, H373 (riñones)	En base a datos de ensayos Opinión de expertos Opinión de expertos Opinión de expertos Opinión de expertos Opinión de expertos

Texto completo de las frases H abreviadas

H302	Nocivo en caso de ingestión.
H314	Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
H317	Puede provocar una reacción alérgica en la piel.
H334	Puede provocar síntomas de alergia o asma o dificultades respiratorias en caso de inhalación.
H372 (inhalación)	Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas por inhalación.
H373	Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas.

Texto completo de las clasificaciones [CLP/SGA]

Acute Tox. 4, H302 EUH071 Resp. Sens. 1, H334 Skin Corr. 1B, H314 Skin Sens. 1, H317 STOT RE 1, H372 (inhalación)	TOXICIDAD AGUDA (oral) - Categoría 4 EUH071 - Corrosivo para las vías respiratorias. SENSIBILIZACIÓN RESPIRATORIA - Categoría 1 CORROSIÓN O IRRITACIÓN CUTÁNEAS - Categoría 1B SENSIBILIZACIÓN CUTÁNEA - Categoría 1 TOXICIDAD ESPECÍFICA EN DETERMINADOS ÓRGANOS (STOT) - EXPOSICIONES REPETIDAS (inhalación) - Categoría 1 TOXICIDAD ESPECÍFICA EN DETERMINADOS ÓRGANOS (STOT) - EXPOSICIONES REPETIDAS - Categoría 2
STOT RE 2, H373	

Fecha de impresión : 11/04/2017

Fecha de emisión/ Fecha de revisión : 11/04/2017

Fecha de la emisión anterior : 15/03/2017

Versión : 8

Aviso al lector:

Según nuestro conocimiento y experiencia, la información aquí contenida es correcta. No obstante, ni el proveedor ni ninguna de sus subsidiarias asumen ninguna responsabilidad sobre la exactitud o integridad de la información aquí contenida. La determinación final relativa a la idoneidad de todo material es responsabilidad exclusiva del usuario. Todos los materiales pueden presentar peligros desconocidos y deben usarse con cautela. Si bien aquí se describen ciertos peligros, no podemos garantizar que éstos sean los únicos que existan.

Observaciones:

Para el transporte marítimo, la Ficha de Datos de Seguridad no necesita contener el Anexo con los Escenarios de Exposición que comienza en la página siguiente. El número total de páginas que se indica tiene en cuenta este Anexo.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006

Versión 5.3 Fecha de revisión 26.07.2018

Fecha de impresión 01.02.2019

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto : γ -Butirolactona

Referencia : H7629

Marca : Sigma

REACH No. : 01-2119471839-21-XXXX

No. CAS : 96-48-0

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Fabricación de sustancias

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía : Sigma-Aldrich Química, S.L.
Ronda de Poniente, 3
Aptdo. Correos 278
E-28760 TRES CANTOS -MADRID

Teléfono : +34 91 6619977

Fax : +34 91 6619642

E-mail de contacto : eurtechserv@sial.com

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia 900-868538 (CHEMTREC España)
+(34)-931768545 (CHEMTREC internacional)

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008

Toxicidad aguda, Oral (Categoría 4), H302

Lesiones oculares graves (Categoría 1), H318

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única (Categoría 3), H336

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008

Pictograma



Palabra de advertencia Peligro

Indicación(es) de peligro

H302

H318

H336

Nocivo en caso de ingestión.

Provoca lesiones oculares graves.

Puede provocar somnolencia o vértigo.

Declaración(es) de prudencia

P261

Evitar respirar el polvo/ el humo/ el gas/ la niebla/ los vapores/ el aerosol.

P280
P305 + P351 + P338

Llevar guantes/ gafas/ máscara de protección.
EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.

Declaración Suplementaria del ninguno(a)
Peligro

2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Sinónimos : 4-Hydroxybutyric acid lactoneGBLy-Hydroxybutyric acid lactone
Formula : $C_4H_6O_2$
Peso molecular : 86,09 g/mol
No. CAS : 96-48-0
No. CE : 202-509-5
Número de registro : 01-2119471839-21-XXXX

Ingredientes peligrosos de acuerdo con el Reglamento (CE) N° 1272/2008

Componente		Clasificación	Concentración
γ-Butyrolactone			
No. CAS	96-48-0	Acute Tox. 4; Eye Dam. 1; STOT SE 3; H302, H318, H336	<= 100 %
No. CE	202-509-5		
Número de registro	01-2119471839-21-XXXX		

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Recomendaciones generales

Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

Si es inhalado

Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Consultar a un médico.

En caso de contacto con la piel

Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar a un médico.

En caso de contacto con los ojos

Lávese a fondo con agua abundante durante 15 minutos por lo menos y consulte al médico.

Por ingestión

Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuague la boca con agua. Consultar a un médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Sin datos disponibles

SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados

Usar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo seco o dióxido de carbono.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Sin datos disponibles

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

5.4 Otros datos

Sin datos disponibles

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Utilícese equipo de protección individual. Evitar respirar los vapores, la neblina o el gas. Asegúrese una ventilación apropiada. Evacuar el personal a zonas seguras.

Equipo de protección individual, ver sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Empapar con material absorbente inerte y eliminar como un desecho especial. Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

6.4 Referencia a otras secciones

Para eliminación de desechos ver sección 13.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura

Evítese el contacto con los ojos y la piel. Evitar la inhalación de vapor o neblina.

Líquido combustible.

Ver precauciones en la sección 2.2

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Almacenar en un lugar fresco. Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Los contenedores que se abren deben volverse a cerrar cuidadosamente y mantener en posición vertical para evitar pérdidas.

Temperatura de almacenaje recomendada 2 - 8 °C

Higroscópico.

7.3 Usos específicos finales

Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

8.2 Controles de la exposición

Controles técnicos apropiados

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad.

Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

Protección personal

Protección de los ojos/ la cara

Gafas de seguridad ajustadas al contorno del rostro. Visera protectora (mínimo 20 cm). Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).

Protección de la piel

Manipular con guantes. Los guantes deben ser inspeccionados antes de su uso. Utilice la técnica correcta de quitarse los guantes (sin tocar la superficie exterior del guante) para evitar el contacto de la piel con este producto. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas de laboratorio. Lavar y secar las manos.

Los guantes de protección seleccionados deben de cumplir con las especificaciones de la Directiva de la UE 89/686/CEE y de la norma EN 374 derivado de ello.

Sumerción

Material: goma butílica

espesura minima de capa: 0,3 mm

Tiempo de penetración: 480 min

Material probado:Butoject® (KCL 897 / Aldrich Z677647, Talla M)

Salpicaduras

Material: Caucho natural latex/cloropreno

espesura minima de capa: 0,6 mm

Tiempo de penetración: 100 min

Material probado:Lapren® (KCL 706 / Aldrich Z677558, Talla M)

origen de datos: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Teléfono +49 (0)6659 87300, e-mail

sales@kcl.de, Método de prueba: EN374

Si es utilizado en solución, o mezclado con otras sustancias, y bajo condiciones diferentes de la EN 374, ponerse en contacto con el proveedor de los guantes aprobados CE. Esta recomendación es meramente aconsejable y deberá ser evaluada por un responsable de seguridad e higiene industrial familiarizado con la situación específica de uso previsto por nuestros clientes. No debe interpretarse como una aprobación de oferta para cualquier escenario de uso específico.

Protección Corporal

Traje de protección completo contra productos químicos, El tipo de equipamiento de protección debe ser elegido según la concentración y la cantidad de sustancia peligrosa al lugar específico de trabajo.

Protección respiratoria

Donde el asesoramiento de riesgo muestre que los respiradores purificadores toda la cara con combinación multi-proposito (EEUU) o tipo ABEK (EN 14387 ingeniería. Si el respirador es la única protección, usar un respirador. Usar respiradores y componentes testados y aprobados bajo los estándares gubernamentales apropiados como NIOSH (EEUU) o CEN (UE)

Control de exposición ambiental

No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

- | | |
|--|--|
| a) Aspecto | Forma: líquido, claro
Color: incoloro |
| b) Olor | Sin datos disponibles |
| c) Umbral olfativo | Sin datos disponibles |
| d) pH | 4 a 100 g/l a 20 °C |
| e) Punto de fusión/ punto de congelación | Punto/intervalo de fusión: -45 °C |
| f) Punto inicial de | 204 - 205 °C |

ebullición e intervalo de
ebullición

- | | | |
|----|---|--|
| g) | Punto de inflamación | 98 °C - copa cerrada |
| h) | Tasa de evaporación | Sin datos disponibles |
| i) | Inflamabilidad (sólido, gas) | Sin datos disponibles |
| j) | Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos | Límite superior de explosividad: 16 %(V)
Límites inferior de explosividad: 1,4 %(V) |
| k) | Presión de vapor | 2,0 hPa a 20 °C |
| l) | Densidad de vapor | 2,97 - (Aire = 1.0) |
| m) | Densidad relativa | Sin datos disponibles |
| n) | Solubilidad en agua | Sin datos disponibles |
| o) | Coefficiente de reparto n-octanol/agua | log Pow: -0,57 |
| p) | Temperatura de auto-inflamación | Sin datos disponibles |
| q) | Temperatura de descomposición | Sin datos disponibles |
| r) | Viscosidad | Sin datos disponibles |
| s) | Propiedades explosivas | Sin datos disponibles |
| t) | Propiedades comburentes | Sin datos disponibles |

9.2 Otra información de seguridad

Densidad relativa del vapor	2,97 - (Aire = 1.0)
-----------------------------	---------------------

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad

Sin datos disponibles

10.2 Estabilidad química

higroscópico

Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Sin datos disponibles

10.4 Condiciones que deben evitarse

Sin datos disponibles

10.5 Materiales incompatibles

Ácidos fuertes, Bases fuertes, Agentes oxidantes fuertes, Agentes extremadamente reductores, Cinc, Plásticos

10.6 Productos de descomposición peligrosos

Productos de descomposición peligrosos formados en condiciones de incendio. - Óxidos de carbono

Otros productos de descomposición peligrosos - Sin datos disponibles

En caso de incendio: véase sección 5

SECCIÓN 11. Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda

DL50 Oral - Rata - 1.540 mg/kg

Observaciones: Conducta: alteraciones en el ciclo del sueño Conducta: Somnolencia (depresión general de la actividad) Problemas respiratorios

CL50 Inhalación - Rata - 4 h - > 5.100 mg/m³

DL50 Cutáneo - Conejillo de indias - > 5.000 mg/kg

Corrosión o irritación cutáneas

Sin datos disponibles

Lesiones o irritación ocular graves

Sin datos disponibles

Sensibilización respiratoria o cutánea

Sin datos disponibles

Mutagenicidad en células germinales

Sin datos disponibles

Carcinogenicidad

Este producto es o contiene un componente no clasificable con respecto a su carcinogenia en humanos, basado en su clasificación por IARC (International Agency for Research on Cancer; Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer), ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists; Conferencia de Higienistas Industriales Gubernamentales de los Estados Unidos), NTP (National Toxicology Program; Programa Nacional de Toxicología) de los Estados Unidos o EPA (Environmental Protection Agency; Agencia para la Protección del Medio Ambiente) de los Estados Unidos.

IARC: 3 - Grupo 3: No clasificable como carcinogénico para los humanos (γ-Butyrolactone)

Toxicidad para la reproducción

Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

Puede provocar somnolencia o vértigo.

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas

Sin datos disponibles

Peligro de aspiración

Sin datos disponibles

Información Adicional

RTECS: LU3500000

un efecto anestésico sobre el sistema nervioso central, caracterizado por una pérdida de sensación, Inicialmente se produce una excitación preliminar seguida de relajación, estupor o sueño., Náusea, Vértigo, Dolor de cabeza

Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

Hígado - Irregularidades - Con base en la evidencia humana

SECCIÓN 12. Información ecológica

12.1 Toxicidad

Toxicidad para los peces CL50 - *Leuciscus idus* (Carpa dorada) - > 220 mg/l - 96 h

Toxicidad para las CE50 - *Daphnia magna* (Pulga de mar grande) - > 500 mg/l - 48 h

dafnias y otros (Directiva 67/548/CEE, Anexo V, C.2.)
invertebrados acuáticos

Toxicidad para las algas CE50 - Desmodesmus subspicatus (alga verde) - 360 mg/l - 72 h

12.2 Persistencia y degradabilidad

Biodegradabilidad Biótico/aerobio - Tiempo de exposición 13 d
Resultado: 90 % - Fácilmente biodegradable.
(Directiva 67/548/CEE, Anexo V, C.4.F.)

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) 1.160 mg/g

12.3 Potencial de bioacumulación

Sin datos disponibles

12.4 Movilidad en el suelo

Sin datos disponibles

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

12.6 Otros efectos adversos

Información ecológica complementaria Sin datos disponibles

Halógenos ligados orgánicos absorbidos (AOX) Observaciones: El producto no contiene halógenos orgánicos.

SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Producto

Ofertar el sobrante y las soluciones no-aprovechables a una compañía de vertidos acreditada.

Envases contaminados

Eliminar como producto no usado.

SECCIÓN 14. Información relativa al transporte

14.1 Número ONU

ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

ADR/RID: Mercancía no peligrosa
IMDG: Not dangerous goods
IATA: Not dangerous goods

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

14.4 Grupo de embalaje

ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

14.5 Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: no IMDG Marine pollutant: no IATA: no

14.6 Precauciones particulares para los usuarios

Sin datos disponibles

SECCIÓN 15. Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

15.2 Evaluación de la seguridad química

Para este producto no se ha llevado a cabo una evaluación de la seguridad química

SECCIÓN 16. Otra información

Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

H302	Nocivo en caso de ingestión.
H318	Provoca lesiones oculares graves.
H336	Puede provocar somnolencia o vértigo.

Otros datos

Copyright 2016 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a www.sigma-aldrich.com y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hidrógeno comprimido

Fecha de Emisión: 16.01.2013
Fecha de revisión: 12.07.2018

Versión: 2.2

No. FDS: 000010021694
1/15

SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa**1.1 Identificador del producto**

Nombre del producto: Hidrógeno comprimido

Nombre comercial: Hidrógeno, Hidrógeno Seco, Hidrógeno 4.0, Hidrógeno 5.0, Hidrógeno 5.6, Hidrógeno 6.0, Biogon® H E949

Identificación adicional

Determinación química: hidrogeno

Fórmula química: H₂

Número de identificación - UE 001-001-00-9

No. CAS 1333-74-0

N.º CE 215-605-7

No. de registro REACH Los enumerados en Anexo IV/V del Reglamento n.º 1907/2006/EC (REACH) están exentos de registro.

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Uso identificado: Industriales y profesionales. Realizar la evaluación de riesgos antes de su uso. Propelente para aerosol. Gas resto para mezclas. Gas de calibración. Gas portador. Síntesis química. Procesos de combustión, fusión y corte. Pilas de combustible. Gas combustible para la soldadura, aplicaciones de corte, calentamiento y aplicaciones de soldadura. Uso en laboratorio. Gas para laser. Gas de proceso. Gas Test. Consumo particular. Gas combustible. Gas propelente. Gas de protección en la soldadura con gas.

Usos no recomendados Este gas no está previsto para rellenar globos para propósitos de juego y publicidad por peligro de explosión. No usar para inflar globos comerciales.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad**Proveedor**

Abelló Linde, S. A.
Calle Bailén 105
E-08009 Barcelona

teléfono: +34 93 4 76 74 00**Correo electrónico:** customerservice@es.linde-gas.com**1.4 Teléfono de emergencia:** +34 93 4 76 74 00

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hidrógeno comprimido

Fecha de Emisión: 16.01.2013
Fecha de revisión: 12.07.2018

Versión: 2.2

No. FDS: 000010021694
2/15

SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación de acuerdo con el reglamento (CE) No. 1272/2008 con sus modificaciones posteriores.

Peligros Físicos

Gas inflamable

Categoría 1

H220: Gas extremadamente inflamable.

Gases a presión

Gas comprimido

H280: Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

2.2 Elementos de la Etiqueta



Palabras de Advertencia: Peligro

Indicación(es) de peligro: H220: Gas extremadamente inflamable.
H280: Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Consejos de Prudencia

Prevención: P210: Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.

Respuesta: P377: Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro.
P381: En caso de fuga, eliminar todas las fuentes de ignición.

Almacenamiento: P403: Almacenar en un lugar bien ventilado.

Eliminación: Ninguno.

2.3 Otros peligros: Ninguno.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hidrógeno comprimido

Fecha de Emisión: 16.01.2013
Fecha de revisión: 12.07.2018

Versión: 2.2

No. FDS: 000010021694
3/15

SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes**3.1 Sustancias**

Determinación química	hidrogeno
Número de identificación - UE:	001-001-00-9
No. CAS:	1333-74-0
N.º CE:	215-605-7
No. de registro REACH:	Los enumerados en Anexo IV/V del Reglamento n º 1907/2006/EC (REACH) están exentos de registro.
Pureza:	100% La pureza de la sustancia indicada en esta sección se utiliza únicamente con fines de clasificación y no representa la pureza real de la sustancia tal como se suministra, para conocer la cual debe consultarse otra documentación.
Nombre comercial:	Hidrógeno, Hidrógeno Seco, Hidrógeno 4.0, Hidrógeno 5.0, Hidrógeno 5.6, Hidrógeno 6.0, Biogon® H E949

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

General:	A elevadas concentraciones puede causar asfixia. Los síntomas pueden incluir la pérdida de la consciencia o de la movilidad. La víctima no siente la asfixia. Retirar a la víctima a un área no contaminada llevando colocado el equipo de respiración autónoma. Mantener a la víctima caliente y en reposo. Llamar al doctor. Aplicar la respiración artificial si se para la respiración.
----------	---

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Inhalación:	A elevadas concentraciones puede causar asfixia. Los síntomas pueden incluir la pérdida de la consciencia o de la movilidad. La víctima no siente la asfixia. Retirar a la víctima a un área no contaminada llevando colocado el equipo de respiración autónoma. Mantener a la víctima caliente y en reposo. Llamar al doctor. Aplicar la respiración artificial si se para la respiración.
-------------	---

Contacto con los ojos: No se esperan efectos adversos de este producto.

Contacto con la Piel: No se esperan efectos adversos de este producto.

Ingestión: La ingestión no está considerada como una vía potencial de exposición.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados: Parada respiratoria.

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Riesgos: Ninguno.

Tratamiento: Ninguno.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hidrógeno comprimido

Fecha de Emisión: 16.01.2013

Versión: 2.2

No. FDS: 000010021694

Fecha de revisión: 12.07.2018

4/15

SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

Riesgos Generales de Incendio: El calor puede ocasionar explosión de los recipientes.

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados: Agua. Polvo seco. Espuma.

Medios de extinción no apropiados: Dióxido de carbono.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla: Ninguno.

Productos de combustión peligrosos: Ninguno.

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Medidas especiales de lucha contra incendios: En caso de incendio: Detener la fuga, si no hay peligro en hacerlo. No extinga las llamas en el lugar donde se produjo la fuga porque existe la posibilidad de reencendido incontrolado con explosión. Continuar vertiendo agua pulverizada desde un lugar protegido hasta que los contenedores permanezcan fríos. Use los extintores para contener el fuego. Aislar la fuente del fuego o dejar que se queme.

Equipos de protección especial que debe llevar el personal de lucha contra incendios: Los bomberos deben utilizar un equipo de protección estándar incluyendo chaqueta ignífuga, casco con careta, guantes, botas de goma, y, en espacios cerrados, equipo de respiración autónomo (SCBA, según sus siglas en inglés). Guía: EN 469: Ropa de protección contra incendios. Requisitos de funcionamiento para la ropa de protección contra incendios. EN 15090 Calzado para extinción de incendios. EN 659 Guantes de protección para extinción de incendios. EN 443 Cascos para la lucha contra incendios en edificios y otras estructuras. EN 137 Equipos de protección respiratoria - Dispositivos autónomos de circuito abierto de aire comprimido para aparato de respiración con máscara completa - requisitos, ensayos, marcado.

SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia: Evacuar la zona. Procure una ventilación adecuada. Considere el riesgo de atmósfera potencialmente explosivas. En caso de fuga, eliminar todas las fuentes de ignición. Monitorizar la concentración del producto liberado. Prevenir la entrada en alcantarillas, sótanos, fosos de trabajo o cualquier lugar donde su acumulación pueda ser peligrosa. Utilizar equipos de respiración autónoma cuando entren en el área a menos que esté probado que la atmósfera es segura. EN 137 Equipos de protección respiratoria - Dispositivos autónomos de circuito abierto de aire comprimido para aparato de respiración con máscara completa - requisitos, ensayos, marcado.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hidrógeno comprimido

Fecha de Emisión: 16.01.2013

Versión: 2.2

No. FDS: 000010021694

Fecha de revisión: 12.07.2018

5/15

6.2 Precauciones Relativas al Medio Ambiente: Impedir nuevos escapes o derrames de forma segura.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza: Procure una ventilación adecuada. Elimine las fuentes de ignición.

6.4 Referencia a otras secciones: Ver también secciones 8 y 13.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hidrógeno comprimido

Fecha de Emisión: 16.01.2013

Versión: 2.2

No. FDS: 000010021694

Fecha de revisión: 12.07.2018

6/15

SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento:**7.1 Precauciones para una manipulación segura:**

Los gases a presión únicamente deben ser manipulados por personas con experiencia y adecuadamente formadas. Utilizar sólo equipo específicamente apropiado para este producto y para su presión y temperatura de suministro. Purgue el sistema con un gas inerte seco (por ejemplo helio o nitrógeno) antes de introducir el producto y cuando el sistema esté puesto fuera de servicio. Purgar el aire del sistema antes de introducir el gas. Los recipientes que contienen o han contenido sustancias inflamables o explosivos no deben ser inertizados con dióxido de carbono líquido. Evaluar el riesgo de atmósferas potencialmente explosivas y la necesidad de disponer de equipos a prueba de explosiones. Evítese la acumulación de cargas electroestáticas. Mantener lejos de fuentes de ignición, incluyendo descarga estática. Los aparatos y el equipo eléctrico usados en ambientes explosivos tienen que estar conectados a tierra. No utilizar herramientas que produzcan chispas. Consulte al proveedor sobre instrucciones de uso y manipulación. La sustancia debe ser manipulada de acuerdo a procedimientos de correcta higiene industrial y seguridad. Asegurarse que el sistema ha sido (o es regularmente) comprobado antes de su uso para detectar que no haya fugas. Proteja los recipientes de daños físicos; no arrastrar, deslizar, rodar o tirar. No quite las etiquetas suministradas por el proveedor como identificación del contenido del recipiente. Cuando mueva los recipientes, incluso en distancias cortas, use un carro diseñado para el transporte de este tipo de recipientes. Asegurarse que los recipientes estén siempre en posición vertical y cerrar las válvulas cuando no se estén usando. Procure una ventilación adecuada. Debe prevenirse la filtración de agua al interior del recipiente. No permitir el retroceso hacia el interior del recipiente. Evitar la succión de agua, ácido y alcalino. Mantener el contenedor por debajo de 50°C, en un lugar bien ventilado. Cumpla con todos los reglamentos y requisitos legales locales sobre el almacenamiento de los recipientes. No comer, ni beber, ni fumar durante su utilización. Almacenar conforme a. Nunca use una llama directa o equipos eléctricos para aumentar la presión del recipiente. No retire las protecciones de las válvulas y en caso de necesidad nunca antes que el recipiente esté situado en su ubicación definitiva y asegurado en una pared o banco de trabajo adecuado. Recipientes con válvulas dañadas deben ser devueltos inmediatamente al proveedor. Cierre la válvula del recipiente después de su uso, incluso cuando esté vacío o esté conectado a un equipo. Nunca debe intentar reparar o modificar las válvulas o equipos de seguridad de los recipientes. Vuelva a colocar todas las protecciones de las válvulas tan pronto como el recipiente haya sido desconectado de su equipo. Mantenga todas las válvulas limpias y libres de aceites, petróleo o agua. Si el usuario tiene alguna dificultad en operar la válvula del recipiente, paralizar su uso y contactar con el proveedor. Nunca intente traspasar gases de un recipiente a otro. Las protecciones de las válvulas deben estar en su lugar.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD**Hidrógeno comprimido**

Fecha de Emisión: 16.01.2013
Fecha de revisión: 12.07.2018

Versión: 2.2

No. FDS: 000010021694
7/15

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades:

Todo los equipos eléctricos en las áreas de almacenamiento debe ser compatible con el riesgo de atmósferas potencialmente explosivas. Separar de gases oxidantes y de otros materiales oxidantes durante el almacenamiento. Los envases no deben ser almacenados en condiciones que puedan favorecer la corrosión del recipiente. Los recipientes deben ser revisados periódicamente para garantizar unas correctas condiciones de uso y la inexistencia de fugas. Las protecciones de las válvulas deben estar en su lugar. Almacene los recipientes en lugares libres de riesgo de incendio y lejos de fuentes de calor e ignición. Manténgase lejos de materias combustibles.

7.3 Usos específicos finales:

Ninguno.

SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual**8.1 Parámetros de Control****Valores Límite de Exposición Profesional**

No se asignaron limites de exposición a ningunode los componentes.

8.2 Controles de la exposición**Controles técnicos apropiados:**

Utilizar sistema de permisos de trabajo (por ejemplo para actividades de mantenimiento). Asegurar la adecuada ventilación de aire. Proveer ventilación adecuada de escape general y local. Mantener las concentraciones muy por debajo de los límites de explosividad inferior. Deben utilizarse detectores de gases cuando pueden ser liberados gases inflamables. Asegure una ventilación adecuada, inclusive escape extracción local adecuada para que los límites de exposición profesional no se excedan. Los sistemas bajo presión deben ser regularmente revisados para detectar fugas. El producto debe se utilizado en sistemas cerrados. Usar únicamente instalaciones permanentemente libres de fugas (por ejemplo tuberías soldadas). Evítese la acumulación de cargas electrostáticas.

Medidas de protección individual, tales como equipos de protección personal**Información general:**

Debe realizarse y documentarse la evaluación del riesgo en cada área de trabajo para evaluar los riesgos relacionados con el uso del producto y para seleccionar los equipos de protección individual correspondientes al riesgo. Se deben seguir las siguientes recomendaciones. Disponer de aparato de respiración autónomo para uso en caso de emergencia. Los equipos de protección individual para el cuerpo se deben seleccionar en base a las tareas a ejecutar y a los riesgos involucrados. Consulte la normativa local para la restricción de las emisiones a la atmósfera. Vea la sección 13 para los métodos específicos para el tratamiento de gases residuales. Prohibido comer, beber y fumar durante la utilización del producto.

Protección de los ojos/la cara:

Use protección ocular, según la norma EN 166, cuando se utilicen gases.
Guía: EN 166: Gafas de protección.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hidrógeno comprimido

Fecha de Emisión: 16.01.2013
Fecha de revisión: 12.07.2018

Versión: 2.2

No. FDS: 000010021694
8/15

Protección cutánea

Protección de las Manos:

Use guantes de protección cuando manipule los recipientes.
Guía: EN 388 Guantes de protección contra riesgos mecánicos.

Protección corporal:

Llevar ropa resistente al fuego o retardante de las llamas.
Guía: ISO / TR 2801:2007 Ropa de protección contra el calor y el fuego -
Recomendaciones generales para la selección, cuidado y uso de ropa protectora.

Otros:

Use zapatos de seguridad cuando manipule los recipientes.
Guía: EN ISO 20345 Equipo de protección individual - Calzado de seguridad.

Protección respiratoria:

No requiere.

Peligros térmicos:

No hay medidas preventivas necesarias.

Medidas de higiene:

No son necesarias medidas de evaluación del riesgos más allá de la correcta manipulación de acuerdo a la higiene industrial y a los procedimientos de seguridad. Prohibido comer, beber y fumar durante la utilización del producto.

Controles de exposición medioambiental:

Para información sobre la eliminación, véase la sección 13.

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Aspecto

Forma/estado:	Gas
Forma/Figura:	Gas comprimido
Color:	Incoloro
Olor:	Inodoro
Olor, umbral:	La superación de límites por el olor es subjetiva e inadecuado para advertir del riesgo de sobrecarga.
pH:	no aplicable.
Punto de fusión:	-259,2 °C
Punto ebullición:	-253 °C
Punto de sublimación:	no aplicable.
Temperatura crítica (°C):	-240,0 °C
Punto de inflamación:	No aplicable para gases y mezclas de gases.
Velocidad de evaporación:	No aplicable para gases y mezclas de gases.
Inflamabilidad (sólido, gas):	Gas inflamable
Límite de inflamabilidad - superior (%):	77 %(v)
Límite de inflamabilidad - inferior (%):	4 %(v)
Presión de vapor:	No se dispone de datos fiables.
Densidad de vapor (aire=1):	0,069
Densidad relativa:	0,07

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hidrógeno comprimido

Fecha de Emisión: 16.01.2013
Fecha de revisión: 12.07.2018

Versión: 2.2

No. FDS: 000010021694
9/15

Solubilidad(es)

Solubilidad en agua:	1,62 mg/l
Coeficiente de reparto (n-octanol/agua):	Desconocido.
Temperatura de autoignición:	560 °C
descomposición, temperatura de:	Desconocido.
Viscosidad	
Viscosidad cinemática:	No hay datos disponibles.
Viscosidad dinámica:	No hay datos disponibles.
Propiedades explosivas:	No corresponde.
Propiedades comburentes:	no aplicable.

9.2 OTRA INFORMACIÓN:

Ninguno.

Peso molecular:

2,02 g/mol (H₂)

SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad:	No existen peligros de reacción distintos de los descritos en otras secciones.
10.2 Estabilidad Química:	Estable en condiciones normales.
10.3 Posibilidad de Reacciones Peligrosas:	Puede formar atmósferas potencialmente explosivas en aire. Puede reaccionar violentamente con materias oxidantes.
10.4 Condiciones que Deben Evitarse:	Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
10.5 Materiales Incompatibles:	Aire y oxidantes. Por la compatibilidad de los materiales, consultar la última versión de la norma ISO-11114.
10.6 Productos de Descomposición Peligrosos:	Bajo condiciones normales de uso y almacenamiento, no debe producirse descomposición en productos peligrosos.

SECCIÓN 11: Información toxicológica

Información general: Ninguno.

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda - Ingestión
Producto

A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Toxicidad aguda - Contacto dermal
Producto

A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hidrógeno comprimido

Fecha de Emisión: 16.01.2013

Versión: 2.2

No. FDS: 000010021694

Fecha de revisión: 12.07.2018

10/15

Toxicidad aguda - Inhalación**Producto**

A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Corrosión/Irritación Cutáneas**Producto**

A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Lesiones Oculares Graves/Irritación Ocular**Producto**

A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Sensibilización de la Piel o Respiratoria**Producto**

A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Mutagenicidad en Células Germinales**Producto**

A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Carcinogenicidad**Producto**

A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Toxicidad para la reproducción**Producto**

A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Toxicidad Sistémica Específica de Órganos Diana- Exposición Única**Producto**

A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Toxicidad Sistémica Específica de Órganos Diana- Exposiciones Repetidas**Producto**

A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Peligro por Aspiración**Producto**

No aplicable para gases y mezclas de gases..

SECCIÓN 12: Información ecológica**12.1 Toxicidad****Toxicidad aguda****Producto**

Sin daños ecológicos causados por este producto.

12.2 Persistencia y Degradabilidad**Producto**

No aplicable para gases y mezclas de gases..

12.3 Potencial de Bioacumulación**Producto**

Se supone que el producto es biodegradable y no se supone que persista en el ambiente acuático durante períodos prolongados.

12.4 Movilidad en el Suelo**Producto**

Debido a su alta volatilidad, el producto es poco probable que cause contaminación del suelo o del agua.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hidrógeno comprimido

Fecha de Emisión: 16.01.2013
Fecha de revisión: 12.07.2018

Versión: 2.2

No. FDS: 000010021694
11/15

12.5 Resultados de la valoración

PBT y mPmB

Producto

No clasificada como PBT o vPBT.

12.6 Otros Efectos Adversos:

Potencial de calentamiento global

Potencial de calentamiento atmosférico: 6

Contiene gas (es) de efecto invernadero. Si se descarga en grandes cantidades, puede contribuir al efecto invernadero.

hidrogeno

SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Información general:

No descargar dentro de ningún lugar donde su acumulación pudiera ser peligrosa. Consultar con el suministrador para recomendaciones específicas. No descargar en áreas donde hay riesgo de que se forme una mezcla explosiva con el aire. El gas residual debe ser quemado a través de un quemador adecuado que disponga de antiretroceso de llama.

Métodos de eliminación:

Consulte el código de buenas prácticas de EIGA (Doc.30 "La eliminación de gases", descargable en <http://www.eiga.org>) para obtener más orientación sobre los métodos apropiados para la eliminación. Eliminación de la botella sólo a través del proveedor. Las actividades de descarga, tratamiento o eliminación pueden estar sujetos a leyes nacionales, estatales o locales.

Códigos del Catálogo Europeo de Residuos

Contenedor:

16 05 04*: Gases en recipientes a presión (incluidos los halones) que contienen sustancias peligrosas.

SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

ADR

- 14.1 Número ONU: UN 1049
14.2 Designación Oficial de Transporte de las Naciones Unidas: HIDRÓGENO COMPRIMIDO
14.3 Clase(s) de Peligro para el Transporte
Clase: 2
Etiqueta(s): 2.1
No. de riesgo (ADR): 23
Código de restricciones en túneles: (B/D)
14.4 Grupo de Embalaje: -
14.5 Peligros para el medio ambiente: no aplicable

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hidrógeno comprimido

Fecha de Emisión: 16.01.2013

Versión: 2.2

No. FDS: 000010021694

Fecha de revisión: 12.07.2018

12/15

14.6 Precauciones particulares para los usuarios: –

RID

14.1 Número ONU: UN 1049
14.2 Designación Oficial de Transporte de las Naciones Unidas: HIDRÓGENO COMPRIMIDO
14.3 Clase(s) de Peligro para el Transporte:
Clase: 2
Etiqueta(s): 2.1
14.4 Grupo de Embalaje: –
14.5 Peligros para el medio ambiente: no aplicable
14.6 Precauciones particulares para los usuarios: –

IMDG

14.1 Número ONU: UN 1049
14.2 Designación Oficial de Transporte de las Naciones Unidas: HYDROGEN, COMPRESSED
14.3 Clase(s) de Peligro para el Transporte:
Clase: 2.1
Etiqueta(s): 2.1
EmS No.: F-D, S-U
14.3 Grupo de Embalaje: –
14.5 Peligros para el medio ambiente: no aplicable
14.6 Precauciones particulares para los usuarios: –

IATA

14.1 Número ONU: UN 1049
14.2 Designación oficial de transporte: Hydrogen, compressed
14.3 Clase(s) de Peligro para el Transporte:
Clase: 2.1
Etiqueta(s): 2.1
14.4 Grupo de Embalaje: –
14.5 Peligros para el medio ambiente: no aplicable
14.6 Precauciones particulares para los usuarios: –
OTRA INFORMACIÓN
Transporte aéreo de pasajeros y mercancías: Prohibido.
únicamente avión de carga: Prohibido.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hidrógeno comprimido

Fecha de Emisión: 16.01.2013

Versión: 2.2

No. FDS: 000010021694

Fecha de revisión: 12.07.2018

13/15

14.7 Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol y del Código IBC: no aplicable

Identificación adicional:

Evitar el transporte en los vehículos donde el espacio de la carga no esté separado del compartimiento del conductor. Asegurar que el conductor está enterado de los riesgos potenciales de la carga y que conoce que hacer en caso de un accidente o emergencia. Asegurar el recipiente de gas antes del transporte. Asegurarse que las válvulas de las botellas están cerradas y no fugan. Las protecciones de las válvulas deben estar en su lugar. Asegurar la adecuada ventilación de aire.

SECCIÓN 15: Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla:

Legislación de la UE

Reglamento (CE) No. 1907/2006, Anexo XVII, Sustancias sujetas a restricciones aplicables a la comercialización y uso:

Determinación química	No. CAS	Concentración
hidrogeno	1333-74-0	100%

Directiva 98/24/CE relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo:

Determinación química	No. CAS	Concentración
hidrogeno	1333-74-0	100%

Reglamentaciones nacionales

Directiva 89/391/CEE sobre la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y la salud de los trabajadores en el trabajo. Directiva 89/686/CEE sobre equipos de protección personal. Directiva 94/9/CE sobre equipos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas (ATEX). Sólo los productos que cumplen con los reglamentos alimentarios (CE) N° 1333/2008 y (UE) N° 231/2012 y que están etiquetados como tales pueden ser utilizados como aditivos alimentarios.

Esta Ficha de Datos de Seguridad ha sido elaborada en cumplimiento del reglamento UE 2015/830.

15.2 Evaluación de la seguridad química:

No se ha realizado ninguna evaluación de la seguridad química.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hidrógeno comprimido

Fecha de Emisión: 16.01.2013
Fecha de revisión: 12.07.2018

Versión: 2.2

No. FDS: 000010021694
14/15

SECCIÓN 16: Otra información

Información sobre revisión: No pertinente.

**Principales referencias
bibliográficas y las fuentes de
datos:**

Se han utilizado diversas fuentes de datos en la elaboración de esta FDS. Esto incluye, no de forma exclusiva, lo siguiente:

Agency for Toxic Substances and Diseases Registry (ATSDR) - Agencia para las sustancias tóxicas y registro de enfermedades (<http://www.atsdr.cdc.gov/>).

Agencia Europea de Productos Químicos: Guía para la elaboración de fichas de datos de seguridad.

Agencia Europea de Productos Químicos: Información sobre sustancias
<http://apps.echa.europa.eu/registered/registered-sub.aspx#search>

European Industrial Gases Association (EIGA) Doc.169 Guía para la clasificación y etiquetado.

Programa Internacional sobre Seguridad Química (<http://www.inchem.org/>)

ISO 10156:2010 Gases y mezclas de gases - Determinación del potencial de inflamabilidad y de oxidación para la selección de válvulas de botellas.

Matheson Gas Data Book, 7ª edición.

National Institute for Standards and Technology (NIST) Standard Reference Database Number 69.

The ESIS (European chemical Substances Information System) platform of the former European Chemicals Bureau (ECB) ESIS (<http://ecb.jrc.ec.europa.eu/esis/>).

The European Chemical Industry Council (CEFIC) ERICards.

United States of America's National Library of Medicine's toxicology data network TOXNET (<http://toxnet.nlm.nih.gov/index.html>).

Los valores umbral límite (TLV) de la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH).

Información específica de la sustancia por parte de los proveedores.

Los detalles dados son ciertos y correctos en el momento de publicarse este documento.

Enunciado de las frases H en los apartados 2 y 3

H220	Gas extremadamente inflamable.
H280	Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Información sobre formación: Los usuarios de los aparatos de respiración deben ser entrenados. Asegurarse que los operarios conocen el riesgo de inflamabilidad.

Clasificación de acuerdo con el reglamento (CE) No. 1272/2008 con sus modificaciones posteriores.

Flam. Gas 1, H220
Press. Gas Compr. Gas, H280

OTRA INFORMACIÓN:

Antes de utilizar el producto en un nuevo proceso o experimento, debe llevarse a cabo un estudio completo de seguridad y de compatibilidad de los materiales. Asegurar la adecuada ventilación de aire. Asegúrese que se cumplen las normativas nacionales y locales. Asegúrese que el equipo esté adecuadamente conectado a tierra. A pesar de que durante la preparación de este documento se ha tomado especial cuidado, no se acepta ninguna responsabilidad por las lesiones o los daños.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Hidrógeno comprimido

Fecha de Emisión: 16.01.2013

Versión: 2.2

No. FDS: 000010021694

Fecha de revisión: 12.07.2018

15/15

Fecha de revisión: 12.07.2018

Exención de responsabilidad: Se proporciona esta información sin ninguna garantía. Se cree que la información es correcta. Esta información debe usarse para hacer una determinación independiente de los métodos para proteger a los trabajadores y el medio ambiente.



SAFETY DATA SHEET

according to regulation (EC) No 1907/2006 (REACH) and 1272/2008/EC **MOL-LUB Ltd.**

Trade name: **MOL Thermol 46 heat transfer oil**

Version: 5 Latest revision: 21. 09. 2018 Date of issue: 20. 06. 2007 Page: 1/(12)

SECTION 1 Identification of the mixture/substance and of the company/undertaking

1.1 Product identifier:

MOL Thermol 46 heat transfer oil

1.2 Relevant identified uses of the mixture or substance and uses advised against

Relevant identified uses: heat transfer oil

Uses advised against: no data

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet:

MOL-LUB Lubricant Production Distribution and Service Ltd.

H-2931 Almásfüzitő, Fő út 21., Hungary

Phone / Fax: +36 34 526 330 / +36 34 526 391

E-mail: kenoanyag@mol.hu

Request SDS of:

MOL-LUB Lubricant Production Distribution and Service Ltd.

Customer Service Center

H-2931 Almásfüzitő, Fő út 21., Hungary

Phone / Fax: +36 80 201 296 / +36 34 348 010

Responsible for SDS:

MOL-LUB Ltd. Csaba Horváth, head of SD, HSE & Business Support

Phone: +36 34 526 343; Mobile: +36 20 474 2644

e-mail: csahorvath@mol.hu

1.4 Emergency telephone number

Emergency telephone (07-15²⁰ h): +36 34 526 210 (CET) on workdays

Health Toxicological Information Service (ETTSZ 1096 Budapest, Nagyváradi tér 2.)

Tel.: +36 80 201 199 (0-24 h, free number).

National Health Toxicological Information Service:

SECTION 2 Hazards identification

2.1 Classification of the mixture or substance

Hazard Class and Category: Hazard statement:

Not classified.

-



SAFETY DATA SHEET

according to regulation (EC) No 1907/2006 (REACH) and 1272/2008/EC **MOL-LUB Ltd.**

Trade name: **MOL Thermol 46 heat transfer oil**

Version: 5 Latest revision: 21. 09. 2018 Date of issue: 20. 06. 2007 Page: 2/(12)

2.2 Label elements

Product identification: Trade name: **MOL Thermol 46 heat transfer oil**

Hazardous components: -

GHS Pictogram: Not required.

Signal word: Not required.

Hazard statement:

Not required.

Supplemental hazard information:

EUH210 Safety data sheet available on request.

Precautionary statements – General: -

Precautionary statements – Prevention:

P273 Avoid release to the environment.

Precautionary statements – Response: -

Precautionary statements – Storage: -

Precautionary statements – Disposal:

P501 Dispose of contents/container in accordance with national regulation.

Other liabilities for labelling:

Tactile warning of danger: Not required.

Transport classification: see section 14.

2.3 Other hazards

The product does not contain any PBT or vPvB substance according to annex XIII of regulation (EC) 1907/2006.



SAFETY DATA SHEET

according to regulation (EC) No 1907/2006 (REACH) and 1272/2008/EC **MOL-LUB Ltd.**

Trade name: **MOL Thermol 46 heat transfer oil**

Version: 5 Latest revision: 21. 09. 2018 Date of issue: 20. 06. 2007 Page: 3/(12)

SECTION 3 Composition/information on ingredients

3.2 Mixtures

Chemical description: Mixture of refined mineral base oils.

Component(s) / Hazardous component(s):

Name	EU number	CAS number	Hazard classes and cat.	Hazard statements	Conc. % (m/m)
Lubricating oils (petroleum), C24- C50* REACH Registr. Nr: 01-2119489969-06	309-877-7	101316-72-7	- (Note L)	-	<100
Lubricating oils (petroleum), C18-40* REACH Registr. Nr: 01-2119486987-11	305-594-8	94733-15-0	- (Note L)	-	max. 70
Distillates (petroleum), dewaxed light paraffinic, hydrotreated REACH Registr. Nr.: 01-2119488517-24	295-301-9	91995-40-3	Asp. Tox. 1 (Note L)	H304	max. 10.0

*: with exposure limit

The full text of each relevant H- phrase and Hazard classes and cat. see in Section 16.

SECTION 4 First aid measures

4.1 Description of first aid measures

General information: Never give anything by mouth to an unconscious person, or never induce vomiting.

Inhalation: Remove the affected person to fresh air. If rapid recovery does not occur, obtain medical attention.

Skin contact: Wash skin with large amounts of water, use soap. In case of persistent irritation, get medical attention.

Eye contact: Flush eyes with plenty of water for 10-15 minutes. In case of persistent irritation, get medical attention.

Ingestion: If swallowed, give water. **Do not** induce vomiting. Get medical attention.

Protection of first-aid person: No individual specifications.



SAFETY DATA SHEET

according to regulation (EC) No 1907/2006 (REACH) and 1272/2008/EC **MOL-LUB Ltd.**

Trade name: **MOL Thermol 46 heat transfer oil**

Version: 5 Latest revision: 21. 09. 2018 Date of issue: 20. 06. 2007 Page: 4/(12)

- 4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed
Prolonged and/or repeated contact may cause irritation on skin or in eyes depending on individual sensitivity.
- 4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment need
Not required.

SECTION 5 Fire-fighting measures

Fire hazards:
Combustible

5.1 Extinguishing media

Suitable extinguishing media:
Foam, carbon dioxide, dry chemical powder.

Unsuitable extinguishing media:
Water jet.

5.2 Special hazards arising from the mixture or substance

Hazardous combustion products:
On burning, carbon dioxide, carbon monoxide, various hydrocarbons and soot can be formed.

5.3 Advice for fire-fighters

Special protective equipment:
According to the existing fire-fighting regulations. Respiratory protection.

Further information:
Collect contaminated fire fighting water separately. It must not enter the sewage system.
Contaminated extinguishing water must be disposed of in accordance with official regulations.

SECTION 6 Accidental release measures

6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

Personal precautions: see Section 8.
Danger of slipping on leaked out/spilled product.

6.2 Environmental precautions:

Confine spills to prevent material from entering sewers, watercourses, drains and into soil
Notify relevant authority.



SAFETY DATA SHEET

according to regulation (EC) No 1907/2006 (REACH) and 1272/2008/EC **MOL-LUB Ltd.**

Trade name: **MOL Thermol 46 heat transfer oil**

Version: 5 Latest revision: 21. 09. 2018 Date of issue: 20. 06. 2007 Page: 5/(12)

6.3 Methods and material for containment and cleaning up

On soil: All kind of ignition sources should be remove. Recover free liquid by pumping. Contain the rest or small quantities with sand, earth or other suitable absorbents. Dispose of according to local regulations.

On water: Confine the spillage. Remove from surface by skimming or suitable absorbents. Notify local authorities according to regulations.

6.4 Reference to other sections

Personal precautions: see section 8.

Waste treatment methods: see section 13.

SECTION 7 Handling and storage

7.1 Precautions for safe handling

Keep general measures applied for normal operations with lubricants.

Keep away from radiant heat and open flame.

Avoid contact with skin and eyes. Avoid prolonged breathing of oil vapours or mists.

Ensure washing facilities after working hours and before breaks.

Take off contaminated clothing and wash it before reuse.

When using do not eat, drink or smoke. Avoid splashing the product.

Handling temperature: no data.

7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Storage facilities must comply with regulations for storing of flammable liquids.

Store in dry, well ventilated place in original, closed containers.

Keep away from radiant heat, open flame and strong oxidizing agents.

Storage temperature: max. 40°C

7.3 Specific end use(s)

Heat transfer oil.

SECTION 8 Exposure controls / personal protection

Engineering control measures:

Not required.



SAFETY DATA SHEET

according to regulation (EC) No 1907/2006 (REACH) and 1272/2008/EC **MOL-LUB Ltd.**

Trade name: **MOL Thermol 46 heat transfer oil**

Version: 5 Latest revision: 21. 09. 2018 Date of issue: 20. 06. 2007 Page: 6/(12)

8.1 Control parameters:

Mineral oil mist: TWA: **5 mg/m³**; STEL: 10 mg/m³, for oil mist, vapour excluded (ACGIH).

Method of testing, recommended: NIOSH 5026

8.2 Exposure controls

Personal protection:

Respiratory protection: Under normal conditions not required. In case of exceeded exposure-limits respiratory protection with particle-filter is recommended.

Hand protection: Oil resistant gloves (EN 374, Breakthrough time 480 min) (e.g. nitrile rubber – minimal thickness 0.33 mm).

Note: Manufacturer's directions for use and the conditions of application should be observed.

Eye protection: Where splashing is possible, wear safety glasses (EN 166).

Skin protection: Protective clothing (oil resistant).

Other special: No data.

Environmental exposure controls:

Do not discharge into drains/surface waters/groundwater.

SECTION 9 Physical and chemical properties

9.1 Information on basic physical and chemical properties

Appearance:

Physical state: liquid
Colour: yellow, clear
Odour: characteristic

Change in physical state:

Pour point (ISO 3016): typ. -15°C
Boiling point (DIN 51356): not available

Others:

Flash point (COC) (EN ISO 2592): typ. 232°C
Ignition point (EN ISO 2592): not available
Autoignition temperature: not available
Explosive properties: not explosive



SAFETY DATA SHEET

according to regulation (EC) No 1907/2006 (REACH) and 1272/2008/EC **MOL-LUB Ltd.**

Trade name: **MOL Thermol 46 heat transfer oil**

Version: 5 Latest revision: 21. 09. 2018 Date of issue: 20. 06. 2007 Page: 7/(12)

Oxidizing properties:	not oxidize
Vapour pressure at 20°C:	negligible
Density at 15°C (EN ISO 12185):	0.869-0.883 g/cm ³
Solubility in water:	practically insoluble in water
Solubility in other solvents:	gasoline, kerosene, toluene, etc.
n-Octanol/water partition coefficient:	not available
Vapour density:	not available
Heating value:	inf. 38 000 kJ/kg
Kinematic viscosity at 40°C (EN ISO 3104):	typ. 43.6 mm ² /s
Kinematic viscosity at 100°C (EN ISO 3104):	typ. 6.5 mm ² /s
pH:	not applicable

9.2 Other information
no data available

SECTION 10 Stability and reactivity

10.1 Reactivity:	Dangerous reactivity not known.
10.2 Chemical stability:	No decomposition if stored and handled properly.
10.3 Possibility of hazardous reactions:	Not known.
10.4 Conditions to avoid:	Direct heat or ignition sources.
10.5 Incompatible materials:	Strong oxidizing agents.
10.6 Hazardous decomposition products:	No dangerous decomposition products are formed under normal conditions. Hazardous combustion products: See Section 5.

SECTION 11 Toxicological information

11.1 Information on toxicological effects

Acute toxicity:

Oral:	LD ₅₀ (rat)	> 2000	mg/kg	(based on components)
Dermal:	LD ₅₀ (rabbit)	> 2000	mg/kg	(based on components)

Acute toxicity: irritation

Skin:	not irritant (based on components)
Eye:	not irritant (based on components)

Respiratory or skin sensitisation: not sensitising (based on components)



SAFETY DATA SHEET

according to regulation (EC) No 1907/2006 (REACH) and 1272/2008/EC **MOL-LUB Ltd.**

Trade name: **MOL Thermol 46 heat transfer oil**

Version: 5 Latest revision: 21. 09. 2018 Date of issue: 20. 06. 2007 Page: 8/(12)

Other information, specific effects:

Note L: The classification as a carcinogen need not apply according to 1272/2008/EC, because it can be shown that the substance contains less than 3 % DMSO extract as measured by IP 346.

Germ cell mutagenicity:	not known, resp. not mutagen (based on components)
Carcinogenicity:	not known, resp. not carcinogen (based on components)
Reproductive toxicity:	not known, resp. no reproduction-damaging effect (based on components)
STOT-single exposure:	not classified
STOT-repeated exposure:	not classified
Aspiration hazard:	not classified

SECTION 12 Ecological information

12.1	Toxicity	Not available.
	Aquatic organisms:	
	Soil organisms:	
	Plants:	
12.2	Persistence and degradability	No data available.
	Biodegradability:	No data available.
12.3	Bioaccumulative potential	No data available.
12.4	Mobility	
	Mobility in soil	Absorbs in soil.
	Mobility in water:	Floats on water.
12.5	Results of PBT and vPvB assessment	Does not contain PBT and vPvB substances.
12.6	Other adverse effects	
	Heavy metal content:	None.
	PCT, PCB and other chlorinated hydrocarbons:	None.
	Environmental effects:	Spills may form a film on water surfaces causing impaired oxygen transfer.
	Water hazard class (German):	WGK 1 (Classification by VwVwS)



SAFETY DATA SHEET

according to regulation (EC) No 1907/2006 (REACH) and 1272/2008/EC **MOL-LUB Ltd.**

Trade name: **MOL Thermol 46 heat transfer oil**

Version: 5 Latest revision: 21. 09. 2018 Date of issue: 20. 06. 2007 Page: 9/(12)

SECTION 13 Disposal considerations

13.1 Waste treatment methods

Product disposal:

Wastes of the product or used oil should be treated as hazardous waste.

Waste Identification Code: 13 02 05*

Mineral-based non-chlorinated engine, gear and lubricating oils.

Disposal must be in compliance with national and local regulations.

Recommended waste treatment method: incineration

Packaging disposal:

Containers with product residue should also be treated as hazardous waste according to national and local disposal regulations.

Waste Identification Code: 15 01 10*

Packaging containing residues of or contaminated by dangerous substances.

Disposal must be in compliance with national and local regulations.

Recommended waste treatment method: incineration

Wastewater:

Quality of wastewater emitted to natural water must comply with national and local regulations.

Care should be taken in any case to ensure compliance with EC, national and local regulations. It is the responsibility of the user to know all relevant national and local regulations.

SECTION 14 Transport information

Land transport:

Road/ Railway ADR/RID: Not classified.

14.1. UN number: Not classified.

14.2. UN proper shipping name: Not classified.

14.3. Transport hazard class(es): Not classified.

14.4. Packing group: Not classified.

14.5. Environmental hazards: Not classified.

14.6. Special precautions for user: Not classified.

Waterways:

Inland waterways/ Sea transport ADN/IMDG: Not apply to the product.

Air transport: ICAO / IATA: Not apply to the product.



SAFETY DATA SHEET

according to regulation (EC) No 1907/2006 (REACH) and 1272/2008/EC **MOL-LUB Ltd.**

Trade name: **MOL Thermol 46 heat transfer oil**

Version: 5 Latest revision: 21. 09. 2018 Date of issue: 20. 06. 2007 Page: 10/(12)

SECTION 15 Regulatory information

- 15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the mixture.
This safety data sheet has been prepared according to Regulation (EC) No 1907/2006 (mod.: 2015/830/EU) and to Regulation (EC) 1272/2008.
- 15.2 Chemical safety assessment.
not available

SECTION 16 Other information

The information given in this data sheet is based on our best knowledge at the time of publication. The information is related only to this product and is intended to assist its safe transport, handling and use. The given physical and chemical parameters describe the product only for the purpose of safety requirements and therefore should not be construed as guaranteeing any specific property of the product or as being part of a product specification or any contract.

The manufacturer or supplier shall not take responsibility for any damages from the use other than recommended or other misuse of the product. It is the responsibility of the user to keep regulatory precautions and observe recommendations for safe use of the product.

Source of data presented in this material safety data sheet:

Test results of this product
Material safety data sheets of product's components
1272/2008/EC regulation, Annex XVII. of REACH
Relevant Hungarian and EU regulations

Classification for mixtures and used evaluation method according to regulation 1272/2008/EC (CLP)

Not classified. -

The full text of each relevant H- phrase and Hazard classes and cat. in Section 3.:

H304 May be fatal if swallowed and enters airways.

Asp. Tox. 1 Aspiration hazard Category 1



SAFETY DATA SHEET

according to regulation (EC) No 1907/2006 (REACH) and 1272/2008/EC **MOL-LUB Ltd.**

Trade name: **MOL Thermol 46 heat transfer oil**

Version: 5 Latest revision: 21. 09. 2018 Date of issue: 20. 06. 2007 Page: 11/(12)

Legend:

ADN	European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Inland Waterways
ADR	European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road
ATE	Acute Toxicity Estimate
BCF	Bioconcentration Factor
BOD	Biological Oxygen Demand
Bw	Body Weight
C&L	Classification and Labelling
CAS	Chemical Abstracts Service
CLP	Classification, Labelling and Packaging
CMR	Carcinogenic, Mutagenic or Toxic for Reproduction
COD	Chemical Oxygen Demand
CSA	Chemical Safety Assessment
CSR	Chemical Safety Report
DMEL	Derived Minimal Effect Level
DNEL	Derived No Effect Level
ECHA	European Chemicals Agency
Ec _x	Effective Concentration x%
ErC ₅₀	EC ₅₀ in terms of reduction of growth rate
Ed _x	Effective Dose x%
EC	European Community
EC number	European Community number
ELINCS	European List of Notified Chemical Substances
ES	Exposure Scenario
ESIS	European Chemical Substances Information System
IARC	International Agency for Research on Cancer
IATA	International Air Transport Association
IMDG	International Maritime Dangerous Goods
LC _x	Lethal Concentration x%
LD _x	Lethal Dose x%
LOAEC	Lowest Observed Adverse Effect Concentration
LOAEL	Lowest Observed Adverse Effect Level
LOEC	Lowest Observed Effect Concentration
LOEL	Lowest Observed Effect Level
NOEC	No observed effect concentration
NOEL	No observed effect level
NLP	No-Longer Polymer
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
PBT	Persistent Bioaccumulative and Toxic
PNEC	Predicted No-Effect Concentration
ppm	parts/million
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
RID	Regulations concerning the International carriage of Dangerous Goods by Rail



SAFETY DATA SHEET

according to regulation (EC) No 1907/2006 (REACH) and 1272/2008/EC **MOL-LUB Ltd.**

Trade name: **MOL Thermol 46 heat transfer oil**

Version: 5 Latest revision: 21. 09. 2018 Date of issue: 20. 06. 2007 Page: 12/(12)

SVHC Substance of Very High Concern
UVCB substance of unknown or variable composition, complex reaction products or biological materials
VOC Volatile organic compounds
vPvB Very Persistent and very Bio-accumulative

Revision Indicators:

Section	Subject of change	Date	Version
3. 1-16	Composition / information on ingredients Regulatory information, other corrections	13.10.2010	2
3 9 1-16	Composition/information on ingredients Physical and chemical properties Revision modification according to 1272/2008/EC and 453/2010/EC	10.09.2012	3
1 3 9 1-16	Details of the supplier of the safety data sheet, Responsible for SDS Composition/information on ingredients Physical and chemical properties Other corrections, revision modification according to 2015/830 /EU	10.12.2015	4
2.2 3 9 1-16	Label elements Composition/information on ingredients Physical and chemical properties Other corrections	21.09.2018	5

ANEXO IV.

Estudios con entidad propia

ÍNDICE

1. Estudio de Impacto Ambiental	1
1.1. Descripción del proyecto.....	1
1.2. Análisis de alternativas viables.....	2
1.2.1. Justificación de la ubicación	2
1.2.2. Justificación de las soluciones tecnológicas adoptadas	2
1.3. Inventario ambiental e identificación de impactos.....	4
1.3.1. Aspectos físicos y biológicos	4
1.3.2. Molestias inducidas a la población	9
1.3.3. Aspectos estético-culturales	9
1.3.4. Aspectos socioeconómicos	10
1.3.5. Identificación de impactos	10
1.4. Medidas para reducir los impactos	11
1.4.1. Medidas de prevención de carácter general.....	11
1.4.2. Medidas de prevención para minimizar el impacto atmosférico	12
1.4.3. Medidas de prevención para minimizar impactos sobre suelo y aguas	12
1.4.4. Sustancias peligrosas.....	12
1.4.5. Medidas de prevención para minimizar el impacto por ruido.....	13
1.4.6. Medidas de prevención de accidentes.....	13
1.4.7. Medidas de prevención de explosiones e incendios.....	14
1.4.8. Medidas de prevención de impacto visual.....	14
1.4.9. Medidas de prevención de impacto social.....	14
1.4.10. Desmantelamiento de la instalación	14
1.4.11. Matriz de impactos.....	15
1.5. Programa de vigilancia ambiental	16
1.5.1. Descripción general	16
1.5.2. Ejecución y operación	16
1.5.3. Actividades de seguimiento	17
1.6. Conclusiones del Estudio de Impacto Ambiental	20
2. Estudio de Seguridad y Salud	21
2.1. Antecedentes y objeto del estudio	21
2.2. Características de la obra	21
2.2.1. Tipología y características de los materiales y elementos	22
2.2.2. Tráfico rodado	23

2.2.3.	Unidades de construcción previstas en la obra	23
2.2.4.	Maquinaria prevista para la realización de la obra	23
2.2.5.	Medios auxiliares previstos para la realización de la obra.....	24
2.2.6.	Oficios cuya intervención es objeto de la Prevención de Riesgos Laborales	24
2.2.7.	Métodos de limpieza y recogida de escombros.....	24
2.2.8.	Almacenamiento y depósito de materiales	25
2.2.9.	Delimitación de espacios y lugares o zonas de paso y circulación.....	25
2.2.10.	Mantenimiento y limpieza de los servicios durante la obra	25
2.3.	Identificación y análisis de riesgos	26
2.3.1.	Movimientos de tierra.....	26
2.3.2.	Estructuras de hormigón	26
2.3.3.	Trabajos en altura	27
2.3.4.	Trabajos de albañilería	27
2.3.5.	Trabajos de soldadura y oxicorte	27
2.3.6.	Instalación eléctrica.....	28
2.4.	Medidas de prevención y protección.....	28
2.4.1.	Equipos de protección individual	28
2.4.2.	Sistemas de protección colectiva	31
2.4.3.	Medidas preventivas de la maquinaria de obra.....	35
2.5.	Normas de actuación preventiva	36
2.5.2.	Seguridad durante la construcción	36
2.5.3.	Medicina preventiva y primeros auxilios	40
2.5.4.	Mantenimiento preventivo	41
2.5.5.	Plan de emergencia	41
2.5.6.	Plan de Seguridad y Salud	42
2.5.7.	Libro de incidencias	42
2.6.	Conclusiones del Estudio de Seguridad y Salud	43
3.	Referencias	44

1. Estudio de Impacto Ambiental

1.1. Descripción del proyecto

La planta de producción de γ -butirolactona de este proyecto está diseñada para una producción de 15.000 toneladas anuales con una pureza del 99,7% operando de forma continua 330 días al año, 24 horas al día. Los días restantes del año se destinan a paradas de mantenimiento y recargas del catalizador y del relleno de la columna.

El proceso de producción se puede dividir en las siguientes etapas:

- **Acondicionamiento de materias primas:** en esta etapa se modifican las condiciones de presión y temperatura de los reactivos de entrada, que se mezclan con la corriente de recirculación para obtener las condiciones de operación óptimas en el reactor. Las materias primas, 1,4-butanodiol y anhídrido maleico, se bombean desde los tanques de almacenamiento, se evaporan completamente en evaporadores Kettle y posteriormente se aumenta la presión de las corrientes utilizando compresores centrífugos.
- **Reacción:** representa la fase donde se desarrolla la reacción química del proceso. Se emplea un reactor catalítico adiabático de lecho fijo diseñado para la total conversión de los reactivos y para maximizar la selectividad del producto principal.
- **Separación de los productos y subproductos:** en esta etapa se lleva a cabo la purificación del producto principal, que se realiza en dos fases diferenciadas: en primer lugar, se condensa parcialmente la corriente de salida del reactor para eliminar el hidrógeno en exceso de la mezcla resultante. En segundo lugar, la mezcla líquida de producto principal y agua se separa en una columna de destilación de relleno para alcanzar el grado de pureza especificado.
- **Acondicionamiento de la corriente de recirculación:** la corriente de hidrógeno se recicla para volver a mezclarse con los reactivos de entrada en la etapa de acondicionamiento de materias primas. Las condiciones de esta corriente a la salida del condensador E-301 no son adecuadas para su mezcla, por lo que se requiere de un compresor y un intercambiador de calor que permita alcanzar las condiciones idóneas.

Los recursos consumidos por la planta son 1,4-butanodiol, anhídrido maleico e hidrógeno puro que se añade a la mezcla por motivos de control en caso de necesidad. Para la refrigeración de equipos se emplea agua refrigerada a 5°C, y para el calentamiento se utiliza vapor de agua saturado a media y alta presión, y un aceite térmico industrial que no es tóxico ni corrosivo.

A continuación, se enumeran los principales impactos ambientales derivados del proceso productivo de la planta:

- **Emisión de gases:** la corriente de gases que se elimina en este proceso deriva exclusivamente de la purga de parte de la corriente de recirculación de hidrógeno, y únicamente en condiciones en que la generación de hidrógeno en el proceso reactivo sea elevada y se deba eliminar el excedente. La mezcla de gases se lleva a una antorcha

antes de su emisión para eliminar cualquier compuesto que sea perjudicial para el medio ambiente. No obstante, como se espera que sea hidrógeno puro, la emisión de gases contaminantes en condiciones normales es despreciable.

- **Aguas residuales:** la salida de aguas residuales se produce por la corriente de destilado de la columna de relleno. Este efluente contiene trazas de compuestos orgánicos, por lo que debe ser tratada en una E.D.A.R. previamente a su vertido al medio. También se obtienen aguas residuales procedentes de la limpieza de equipos, aguas pluviales y aguas de utilidades que puedan contener restos o trazas de materiales por corrosión.
- **Residuos:** los residuos se pueden clasificar en peligrosos y no peligrosos. Los residuos peligrosos provienen del proceso productivo, y se corresponden con materiales contaminados al entrar en contacto con algún compuesto presente en el mismo. Son de este tipo el catalizador del reactor, el relleno de la columna o el aceite térmico utilizado en el intercambiador de calor. Por residuos no peligrosos se entiende a todos aquellos residuos generados que no se consideran perjudiciales para el medio ambiente al no estar contaminados, y consisten en materiales de reformas de la instalación y residuos sólidos urbanos generados en el interior de la planta.
- **Ruidos:** Los ruidos de la planta proceden fundamentalmente de los equipos rotativos, como compresores y bombas.

1.2. Análisis de alternativas viables

1.2.1. Justificación de la ubicación

La planta se ubica en el polígono industrial de Guadarranque, en el ayuntamiento de San Roque, Cádiz. La razón principal de la elección de este emplazamiento es la cercanía a la planta química de CEPSA de producción de anhídrido maleico, una de las materias primas principales del proceso, facilitando el transporte y evitando posibles problemas en largas distancias por realizarse en estado líquido a una temperatura de 70 °C.

La localización permite además una excelente comunicación de la planta, tanto por vía marítima como terrestre, al encontrarse muy próximo al puerto de Algeciras, a la autopista A-7 y a la estación de ferrocarril de San Roque. El polígono industrial, reformado recientemente, cuenta con todos los servicios necesarios para el correcto funcionamiento de la planta y una conexión directa con la E.D.A.R. de Algeciras para el tratamiento de efluentes.

1.2.2. Justificación de las soluciones tecnológicas adoptadas

Para justificar el diseño de la planta según las tecnologías adoptadas se recurre a las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) para el sector en cuestión, que se encuentran recogidas en sus correspondientes documentos de referencia denominados BREF (Best Available Techniques Reference Document), enmarcados en la Directiva 2010/75/EU de Emisiones Industriales y la Directiva IPPC 2008/1/EC.

En estos documentos se recogen las soluciones tecnológicas más eficaces y avanzadas en desarrollo que se deben adoptar en una planta de manera que se cumpla, en la medida de lo posible, con los valores límite establecidos de emisiones al medio y se reduzca, en conjunto, el impacto ambiental del proceso.

Para el proceso de producción en el que se basa este trabajo no existe un documento BREF específico, por lo que se debe recurrir a un documento BREF general que engloba las Mejores Técnicas Disponibles para la Industria Química Orgánica de Gran Volumen de Producción (LVOC).

Para los datos de este proyecto, se realiza una búsqueda de las MTD en el informe LVOC del año 2017 respecto a los procesos involucrados en la manufactura de γ -butirolactona:

- **Apartado 2.4.3.4.1. “Recovery and use of hydrogen”:** en este apartado del documento LVOC aparece descrita la técnica de recuperación de hidrógeno en exceso para reutilizarlo como materia prima. Se propone emplear un sistema de compresores e intercambiadores de calor en serie, que incremente la inversión y el coste de operación a cambio de disminuir el coste por materia prima y reducir el impacto ambiental relativo a la producción de hidrógeno. La solución empleada en este proyecto para la reutilización de hidrógeno en exceso queda justificada.
- **Apartado 2.4.3.5.2. “Condensation”:** en este apartado se hace referencia al proceso de condensación parcial en la separación de vapores orgánicos de una corriente gaseosa, reduciendo para ello la temperatura por debajo de la temperatura de rocío. Se prefiere realizar el enfriamiento por contacto indirecto empleando intercambiadores de calor y agua refrigerada para reducir los costes de utilidades, evitando en la medida de lo posible el uso de gases refrigerantes industriales que puedan emitirse al medio en caso de fuga. Bajo este criterio, el empleo del sistema de condensación de este proyecto queda justificado.
- **Apartado 2.4.5.2.1. “Catalyst selection”:** se indica que la selección de catalizador es crucial a fin de reducir la formación de subproductos e incrementar la eficiencia de la reacción, con la consiguiente disminución de residuos generados. Aclara además la importancia de realizar un estudio de actividad, selectividad, conversión, uso de materiales tóxicos y vida operativa del catalizador, sobre todo en los procesos de hidrogenación. Todas estas consideraciones son estudiadas para la selección del catalizador en el apartado 5 del Documento I. Memoria y apartado 4.1 del Anexo II. Cálculos justificativos, del presente proyecto.
- **Apartado 2.4.6.1. “Generic Techniques on energy efficiency”:** dado que el uso de energía externa es uno de los principales factores que repercuten en el coste de operación y en la emisión de contaminantes al medio (en caso de obtener energía por combustión, principalmente), en este apartado se recogen las técnicas de minimización de necesidades energéticas. A la hora de diseñar este proceso, se tiene en cuenta:
 - a) **Integración energética:** mediante el acoplamiento de las reacciones exotérmicas y endotérmicas, eliminando la necesidad de fuente de calor externa; y reutilización de parte del agua de enfriamiento procedente del condensador en otros intercambiadores de calor.

- b) Optimización del proceso:** empleando las heurísticas de diseño, la topología y el diseño de las unidades del proceso están realizados de manera que se reduzca la necesidad de energía. Entre las medidas se incluyen emplear $\Delta T_m < 100$ en todos los intercambiadores de calor y comprimir el gas antes de calentarlo.
- **Apartado 2.4.11.2.1. “Corrosion prevention”:** la corrosión de los materiales puede provocar incidentes que se deben evitar, como escenarios de fuga con emisiones de contaminantes al medio. Las MTD para prevenir la corrosión establecen que se debe comprobar los materiales de las unidades críticas del proceso, incluir sistemas de control y protección que actúen en caso de emergencia o situación no planeada y desarrollar un estudio HAZOP que analice los riesgos medioambientales y de seguridad en los distintos escenarios posibles. En este proyecto, se realizan dichos análisis y se tienen en consideración las medidas de prevención recomendadas para evitar la corrosión, fundamentalmente de las corrientes que contienen hidrógeno en exceso.

1.3. Inventario ambiental e identificación de impactos

Este apartado tiene como objetivo identificar todos los impactos ambientales que la construcción y el ejercicio productivo en la planta pueda ocasionar al medio. Para ello, se describe la situación de la zona geográfica previa a la construcción de la planta y se analiza y compara con el estado de la misma una vez implantada.

Para llevar a cabo el estudio se analizan multitud de factores, entre los que se encuentran factores biológicos y físicos, molestias inducidas a la población, elementos estético-culturales de la localización e impacto socioeconómico.

1.3.1. Aspectos físicos y biológicos

1.3.1.1. Clima

El estudio del clima del lugar es sumamente importante, pues permite comprender los demás factores del medio en el que se enmarca la instalación (como el suelo, la vegetación y la fauna) al ser dependientes de las condiciones climáticas.

La planta está ubicada en el polígono de Guadarranque, en la provincia de Cádiz y municipio de San Roque. La información climática del lugar se extrae de datos oficiales proporcionados por AEMET y las bases de datos online no oficiales Weather Spark y Weather Channel, complementando lo explicado en el apartado 8.5 del Documento I. Memoria.

En esta localidad predomina el clima mediterráneo con influencia oceánica (clasificación Köppen Csb), típico de la zona sur de la península donde se juntan el mar mediterráneo y el océano Atlántico. Se caracteriza por unos veranos suaves y secos, inviernos húmedos y lluviosos, y constantes ráfagas de viento.

Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía desde los 11 °C a los 28 °C, y rara vez baja a menos de 8 °C o se alcanzan valores superiores a los 31 °C, como se puede observar en la figura 1.

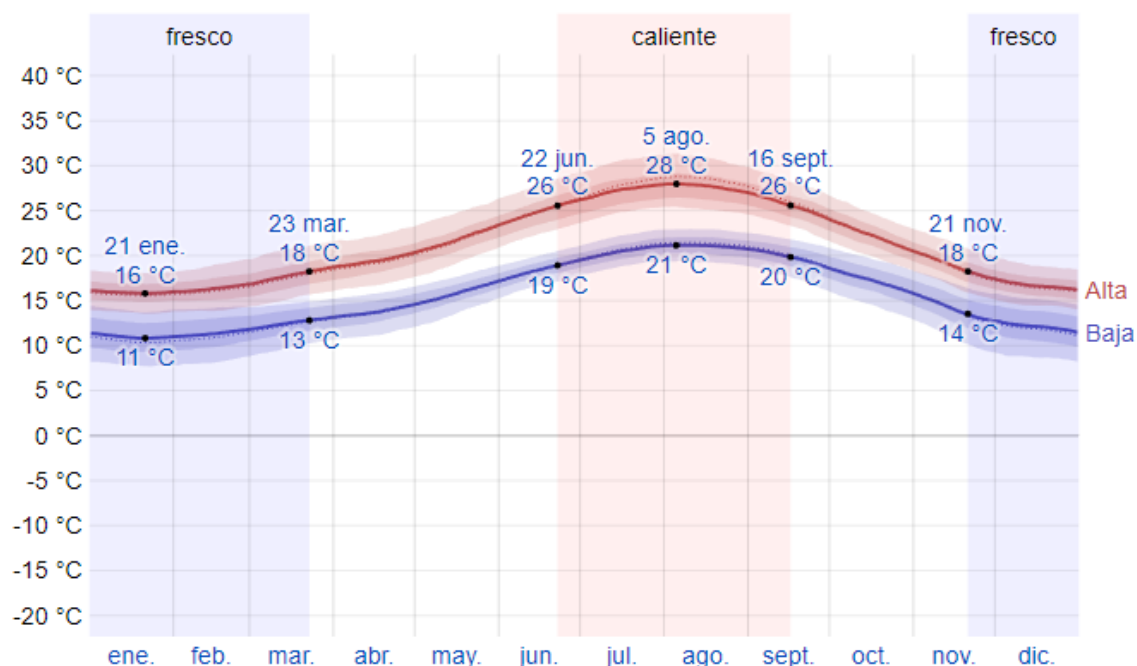


Figura 1. Distribución de temperaturas en San Roque a lo largo del año (Weather Spark, 2019)

Respecto a las precipitaciones, la probabilidad de lluvia varía en función de la época. En la figura 2 se muestra una gráfica con los porcentajes medios de probabilidad de precipitación y en la figura 3 las cantidades de lluvia (en mm de agua por m²) que se registran a lo largo del año.

Se considera la región de la Bahía de Algeciras como una zona lluviosa en invierno, que se puede valorar como positivo para la minimización del impacto ambiental de la planta dado que favorece la dispersión de contaminantes en el medio en caso de fuga. Además, unido a las ráfagas de viento, este efecto se ve incrementado.

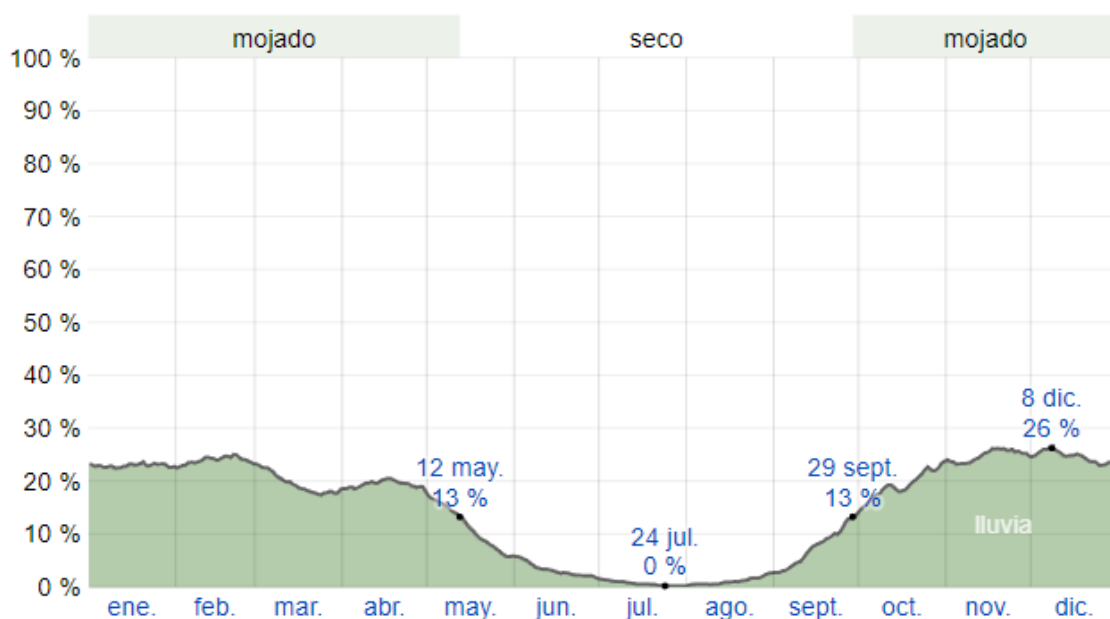


Figura 2. Probabilidad de lluvia en San Roque (Weather Spark, 2019)

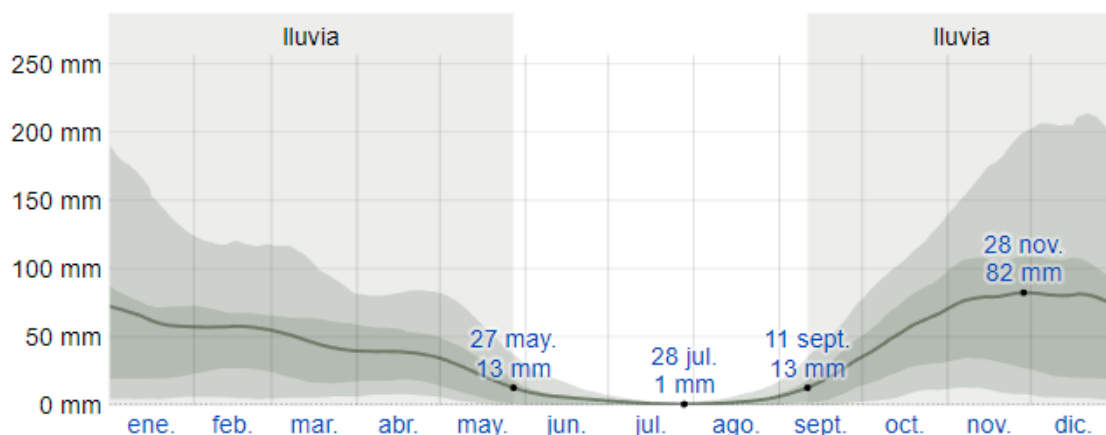


Figura 3. Precipitación de lluvia mensual promedio (Weather Spark, 2019)

1.3.1.2. Calidad del aire

La calidad del aire se mide en referencia al Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, junto a sus correcciones por los Reales Decretos 39/017 y 678/2014, relativos a la mejora de la calidad del aire.

El Real Decreto 102/2011 presenta valores límite para las sustancias consideradas contaminantes mencionadas en el artículo 1 del mismo, y que se recogen a continuación en la tabla 1 junto a los valores límite exigidos por metro cúbico de aire:

Tabla 1. Valores límite para las sustancias contaminantes en el aire

Contaminante	Valor límite en aire
Dióxido de azufre, SO ₂	350 µg/m ³
Dióxido de nitrógeno, NO ₂	40 µg/m ³
Partículas en suspensión <10 µm, PM ₁₀	40 µg/m ³
Partículas en suspensión <2,5 µm, PM _{2.5}	25 µg/m ³
Plomo, Pb	0,5 µg/m ³
Benceno, C ₆ H ₆	5 µg/m ³
Monóxido de carbono, CO	10 mg/m ³
Ozono, O ₃	120 µg/m ³
Arsénico, As	6 ng/m ³
Cadmio, Cd	5 ng/m ³
Níquel, Ni	20 ng/m ³

La calificación de la calidad del aire en una región determinada se realiza mediante el Índice de Calidad del Aire (ICA), que refleja el nivel de contaminación presente. Un valor bajo supone poca concentración de contaminante, y viceversa.

En la tabla 2 se presentan los rangos de valores del índice que sirven para calificar el aire, junto con los potenciales efectos para la salud humana.

Tabla 2. Calidad del aire según el índice ICA (AirNow, 2019)

Índice ICA	Calidad del aire	Descripción
0 – 50	Buena	La calidad del aire es satisfactoria, y no supone un riesgo para la salud o este es muy pequeño.
51 – 100	Moderada	La calidad del aire es aceptable. Sin embargo, puede haber una preocupación moderada de la salud para un número pequeño de la población por parte de algunos agentes contaminantes.
101 – 150	Poco saludable para grupos sensibles	Los miembros de grupos sensibles pueden experimentar efectos en la salud. Esto implica que es muy probable que se vean afectados por los niveles más bajos de contaminación
151 – 200	Poco saludable	Cualquier persona puede empezar a experimentar efectos en la salud. Los miembros de grupos sensibles pueden experimentar efectos de salud más serios
201 – 300	Muy poco saludable	En este nivel se debe usar una advertencia de emergencia sanitaria para prevenir efectos en la salud de toda la población ya que todos pueden experimentar efectos negativos sobre su salud.
301 – 500	Peligroso para la salud	En los valores peligrosos es muy probable que toda la población vea afectada seriamente su salud. Se debe emitir una alerta sanitaria.

En índice ICA de la localización de la planta se muestra en la figura 4. Se puede observar que el máximo contaminante de la zona es el ozono, con un valor de $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El resto de parámetros son bajos y por ello el nivel de calidad del aire de la zona es muy bueno y no supone un riesgo para la salud.

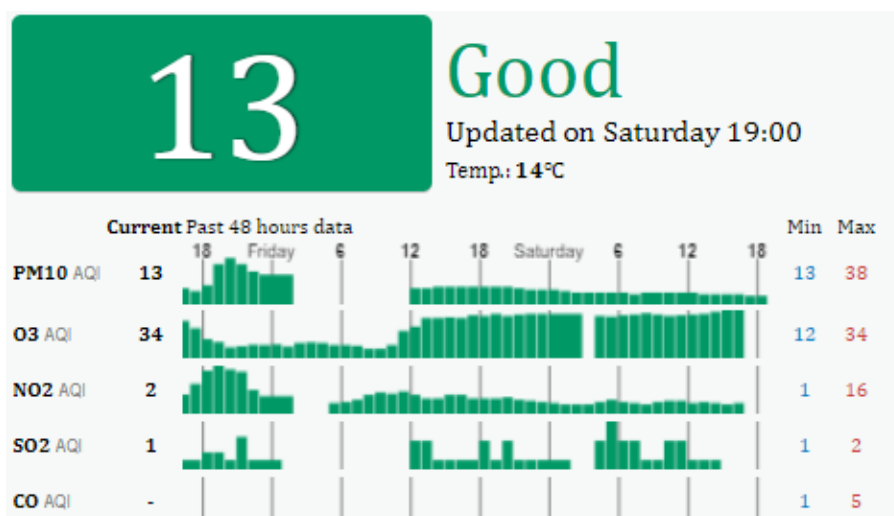


Figura 4. Informe de calidad del aire y condiciones climáticas en San Roque a 12 de enero de 2019 (AQICN, 2019)

Las emisiones que tienen lugar en el proceso de producción de este proyecto no quedan englobadas bajo el Real Decreto 102/2011. La principal emisión es una corriente con una elevada concentración de hidrógeno y trazas de vapor de agua y materia orgánica procedente de la purga, en caso de generación excesiva de hidrógeno en el reactor.

Según las indicaciones de las MTD recogidas en el BREF, la corriente se lleva a una antorcha antes de ser vertida a la atmósfera. Dada la elevada presencia de hidrógeno, el principal producto de la combustión es vapor de agua, que no es contaminante. Por este motivo, se considera que la planta química en condiciones normales no presenta ningún riesgo para la calidad del aire de la zona.

1.3.1.3. Fauna y flora

El 80% de la superficie de la Bahía de Algeciras es forestal y natural, como se muestra en la figura 5. De esta superficie, un 21% pertenece al parque Natural de Los Alcornocales y un 27% al parque natural del Estrecho, como se puede observar en la figura 6.

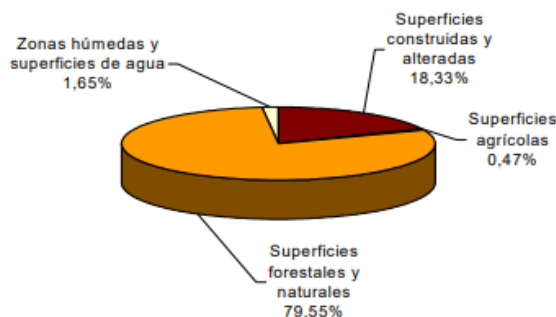


Figura 5. Distribución de las superficies en el municipio de Algeciras (Consejería de Medio Ambiente de San Roque, 2013)

La flora de la región se caracteriza por la vegetación de tipo mediterráneo con un característico bosque de alcornocales con matorral bajo de tipo xerófito. En las zonas altas de la sierra el bosque es más cerrado, mientras que los prados de gramíneas son propios de las zonas más cercanas a la ciudad.

En cuanto a la fauna, destaca el paso masivo de aves por el estrecho de Gibraltar en época de migraciones. En la costa abunda la presencia de diversas especies de cetáceos como los delfines mulares, orcas o cachalotes, mientras que en la sierra pueden observarse mamíferos como jabalíes, corzos o ginetas.

Como la planta se ubica en un polígono industrial, el impacto paisajístico no se considera importante, ya que es suelo habilitado para tal fin.

1.3.1.4. Hidrología

Los recursos hidrológicos del municipio de San Roque se encuentran dentro de la Cuenca Hidrográfica del Sur, con una capacidad del embalse de 1.128 hectómetros cúbicos. El polígono industrial de Guadarranque está situado entre el río Guadarranque, que sirve de suministro de

agua, y el arroyo de la Madre Vieja O Alhaja. Por proximidad, es necesario extremar precauciones en la planta química para que no se viertan aguas residuales al arroyo.

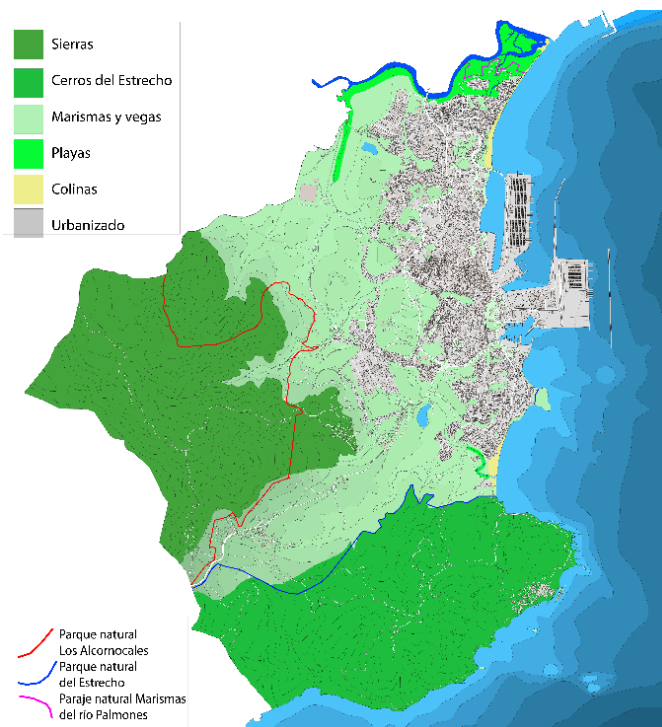


Figura 6. Mapa de la Bahía de Algeciras con sus unidades de paisaje (Wikipedia, 2018)

1.3.2. Molestias inducidas a la población

La principal molestia que puede ocasionar la instalación de la planta a la población es el ruido que el ejercicio productivo pueda generar, proveniente fundamentalmente de los equipos rotativos.

Los núcleos urbanos más cercanos son la urbanización de Los Barrios, situada a 1 km de distancia en dirección oeste de la parcela seleccionada cruzando el río Guadarranque, y la población de Taraguilla, situada a 1 km de distancia en dirección norte. El polígono industrial consta además de la mayor planta química de Cepsa en Andalucía, por lo que la influencia concerniente al ruido de la planta de este proyecto no se considera relevante.

1.3.3. Aspectos estético-culturales

La implantación de la instalación en un polígono industrial provoca un impacto visual mínimo en el medio, dado que la zona está destinada a tal fin y se ve rodeada por otras instalaciones semejantes.

En relación al patrimonio histórico-artístico, en el emplazamiento no se localiza ningún yacimiento arqueológico que se pueda ver afectado por este proyecto, ni ningún monumento o patrimonio de interés cultural.

1.3.4. Aspectos socioeconómicos

Según el Instituto Nacional de Estadística (INE), a fecha 1 de enero de 2017, el municipio de San Roque cuenta con un censo de 29.969 habitantes, estabilizado desde el año 2011. La economía del municipio está basada en la industria química, petrolera y energética.

El Polígono de Guadarranque está considerado como el más importante de toda Andalucía por la presencia de la refinería CEPSA de Gibraltar-San Roque, la central eléctrica de ciclo combinado de San Roque y el gran parque solar propiedad de la compañía Endesa. Estas industrias proporcionan empleo a más de 11.700 personas, por lo que la principal demanda de empleo en esta zona es como peón en industrias.

La instalación de la planta química de γ -butirolactona ayudaría a la creación de más puestos de trabajo en la zona, donde el número de parados asciende a 3.400 habitantes a fecha de noviembre de 2018. Con una tasa de paro del 28%, trece puntos por encima de la tasa nacional, es de esperar que la creación de empleo mejore sustancialmente la economía local y sea bien recibida.

1.3.5. Identificación de impactos

La evaluación de los impactos enunciados anteriormente puede realizarse atendiendo a los criterios que se presentan a continuación:

- **Extensión:** mide la influencia del impacto en relación con el entorno del proyecto, expresado como porcentaje de superficie del mismo en el que se manifiesta el efecto.
- **Momento:** considera el tiempo entre la ejecución del proyecto y la manifestación del impacto generado.
- **Reversibilidad:** indica la posibilidad de recuperación del factor perjudicado por el efecto.
- **Acumulación:** incremento progresivo del efecto al manifestarse de forma continuada.
- **Periodicidad:** manifiesta la regularidad de la aparición del efecto.
- **Gravedad:** la estimación de la gravedad se realiza en base al grado de intensidad de las medidas correctoras que se precisan para corregir el impacto.
- **Recuperabilidad:** posibilidad de retornar a las condiciones preoperacionales mediante intervención humana.

En relación al medio físico y biológico, debido a la construcción de la planta en terreno industrial ni el clima, ni la fauna o flora se verán afectados por las actividades desarrolladas en la misma.

De igual manera, las emisiones a la atmósfera serán puntuales y compuestas fundamentalmente por vapor de agua. Las fugas puntuales de vapores orgánicos serán accidentales o provocadas en caso de una situación que requiera alivio de presión en el sistema. Debido a la localización cercana de centrales térmicas y refinerías, el impacto que supone a la calidad del aire es mínimo.

Los vertidos de aguas residuales serán destinados a la E.D.A.R. local para su tratamiento, por lo que no se contempla un escenario de vertido al río o arroyo cercanos, salvo por vertido accidental. Además, para evitar daños al suelo y al río y arroyo cercanos anteriormente mencionados, se incorporan a los tanques de almacenamiento cubetos de retención que eviten los derrames accidentales de líquidos orgánicos al medio.

Durante la fase de acondicionamiento del terreno para la obra, es de esperar que se provoque impacto al entorno por manipulación de materiales de obra y funcionamiento de vehículos y maquinaria pesados. Durante esta operación, se puede levantar material particulado como arena o polvo que afecte a la calidad del aire y generar aguas residuales procedentes de las excavaciones o lavados de maquinaria.

Por otro lado, el impacto positivo es la generación de puestos de empleo que mejore la situación socioeconómica de la zona.

1.4. Medidas para reducir los impactos

En este apartado se presentan las medidas preventivas y correctoras que tienen como objetivo la minimización de los impactos negativos presentados en los anteriores apartados.

1.4.1. Medidas de prevención de carácter general

1.4.1.1. Buenas prácticas generales de obra

En la fase de obra, se deben limitar las molestias generadas a la población y minimizar los impactos a la calidad del suelo, aire y agua. Las medidas que se pueden implementar son: evitar la limpieza y mantenimiento de la maquinaria sobre el terreno de la obra, de forma que se elimine la posibilidad de derrame accidental de aceite, combustible o agua contaminada; tratar de minimizar el ruido generado, sobre todo en horario nocturno; y reducir las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero utilizando maquinaria en buen estado que cumpla la normativa ambiental.

1.4.1.2. Selección de suministradores y contratistas

Se debe priorizar la selección de suministradores y contratistas que garanticen una gestión medioambiental adecuada durante el período de obra. Los residuos generados deben gestionarse según su categoría (peligrosos y no peligrosos), implementando un sistema de separación selectiva y de entrega a gestores especializados, a poder ser empresas de reciclaje.

El almacenaje de los residuos desde la generación hasta la recogida debe realizarse en un lugar seguro, de forma que se evite la contaminación del suelo por lixiviados o la contaminación de la atmósfera por material particulado y evaporación de compuestos orgánicos peligrosos.

1.4.2. Medidas de prevención para minimizar el impacto atmosférico

En la fase de obra, se deben ejecutar medidas preventivas que permitan minimizar la emisión de gases de combustión y material particulado a la atmósfera.

En la fase de explotación de la planta, se aplican las MTD relativas a la emisión de gases sugeridas en el BREF de LVOC, que implica la combustión de la corriente en una antorcha que elimine el contenido orgánico perjudicial antes de su vertido al medio.

1.4.3. Medidas de prevención para minimizar impactos sobre suelo y aguas

1.4.3.1. Medidas generales en obra

Para minimizar los daños sobre el suelo y las aguas cercanas en la fase de construcción, se deben aplicar las siguientes medidas preventivas:

- Revisión periódica de maquinaria y de equipos.
- Limpieza de vehículos en sitios especialmente designados para tal fin.
- Evitar el vertido de aguas con sólidos en suspensión sin tratamiento previo.
- Construcción de naves con solera de hormigón para evitar posibles filtraciones.

1.4.3.2. Prevención de fugas y derrames

Las pérdidas de material repercuten directamente en el ámbito económico, pues conllevan operaciones de limpieza, saneamiento y eliminación de residuos, además del peligro generado para la salud y el medio ambiente.

Para prevenir las fugas y vertidos accidentales, es conveniente disponer de un almacenamiento adecuado de materias primas dispuesto en una zona separada al área de producción que reduzca la influencia del incidente en caso de producirse. Otras medidas preventivas incluyen el dimensionamiento de fugas en la fase de diseño y realizar estudios de prevención de accidentes.

1.4.4. Sustancias peligrosas

En lo relativo a las sustancias peligrosas, es necesario cumplir y respetar lo establecido por el Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. En el apartado 13.1 del Documento I. Memoria se realiza el inventario de sustancias peligrosas en relación a los criterios mencionados en dicho Real Decreto.

Como medidas complementarias, también se debe tener en cuenta el Real Decreto 379/2001, de almacenamiento de productos químicos, y las MTD englobadas en el BREF LVOC relativas a las emisiones procedentes de sistemas de almacenamiento.

1.4.5. Medidas de prevención para minimizar el impacto por ruido

Durante las fases de construcción, desmantelamiento o reformas de la instalación se producirá el mayor nivel de ruido, fundamentalmente por la utilización de maquinaria pesada. Una vez terminen estas fases temporales, se espera que el nivel de ruido disminuya considerablemente, y que durante la fase de explotación no afecte al medio de forma significativa al estar emplazada en un polígono industrial rodeado de otras industrias.

Para evitar una generación excesiva de ruido en la ejecución de las obras, se deben llevar a cabo las siguientes medidas preventivas:

- Aumentar la fluidez del tráfico rodado.
- Respetar horarios adecuados de obras, evitando en la medida de lo posible los trabajos nocturnos.
- Cumplir en todo momento con la normativa vigente al respecto de los niveles de emisión de ruidos permitidos.

1.4.6. Medidas de prevención de accidentes

Para evitar accidentes en la instalación, se deben realizar análisis de riesgos en la fase de diseño para comprobar qué zonas de la planta tienen más probabilidad de sufrir accidentes. Además, se debe seguir la legislación vigente en materia de seguridad laboral:

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales, con todas sus modificaciones y derogaciones posteriores.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. Se deben considerar a su vez las modificaciones establecidas por el Real Decreto 899/2015, el Real Decreto 598/2015 y el Real Decreto 337/2010.
- El Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción. Se deben considerar las modificaciones y derogaciones por el Real Decreto 337/2010 y el Real Decreto 1109/2007.
- El Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

Para minimizar el riesgo de accidentes debidos al transporte rodado, se deben señalizar correctamente las vías de comunicación dentro de la planta, como los accesos y las zonas de carga y descarga.

1.4.7. Medidas de prevención de explosiones e incendios

La instalación eléctrica de la planta debe cumplir con lo establecido por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT), que se recoge en el Real Decreto 842/2002, del 2 de agosto. Adicionalmente, la instalación debe cumplir con lo establecido por el Real Decreto 2267/2004, del 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales.

Para prevenir explosiones en la instalación, se debe cumplir con lo establecido por el Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.

Así mismo, las instalaciones están obligadas a elaborar un Plan de Emergencia Interior en el que se reflejen las acciones que se deben tomar en caso de detección de una emergencia en la planta, y se deben realizar inspecciones anuales a la planta por parte del Departamento de Industria.

1.4.8. Medidas de prevención de impacto visual

El impacto visual que pueda generar la construcción de la planta en el polígono industrial se verá reducida con la instalación de barreras visuales en los límites de la parcela. No obstante, se espera que el impacto visual no sea significativo.

1.4.9. Medidas de prevención de impacto social

El impacto social asociado a la instalación de la planta se considera positivo, pues ofrece trabajo, tanto directo como indirecto, a la población local. No obstante, a fin de evitar una situación de disconformidad por parte de la población debido a la construcción de la planta y su actividad industrial, conviene mantenerla informada acerca de los impactos ambientales que pueden provocar al medio y a la salud humana, facilitando el acceso público a los resultados anuales en materia de emisión de contaminantes al medio y sistema de gestión de residuos.

1.4.10. Desmantelamiento de la instalación

Una vez finalizado el período de servicio de la instalación, se debe proceder al desmantelamiento de la misma prestando especial atención a los residuos que puedan permanecer, y establecer procedimientos de retirada y gestión segura de los mismos.

El procedimiento que se debe seguir a la hora de desmantelar la instalación se detalla en los siguientes puntos:

1. Derribo de las infraestructuras mediante empuje o tracción.
2. Demolición con herramientas manuales.
3. Demolición con martillo rompedor sobre máquina.
4. Utilización de tenazas para rotura.

5. Derribo por golpeo.
6. Fracturación.
7. Demolición por corte y perforación.
8. Desmonte y desguace.

1.4.11. Matriz de impactos

La matriz de impactos o matriz causa-efecto sirve como recurso visual para determinar los impactos ocasionados por las operaciones llevadas a cabo en la construcción y funcionamiento de la planta en los parámetros ambientales que se han mencionado en apartados anteriores. Se representa en la tabla 3, donde se identifica cada impacto en función de un código de colores.

Tabla 3. Matriz causa-efecto de la planta de producción de γ -butirolactona (Elaboración propia)

		Operación	Fase de construcción					Fase de explotación		
			Acondicionamiento del terreno	Funcionamiento de la maquinaria pesada	Almacenamiento del material de obra	Construcción y montaje	Tráfico de vehículos de obra	Funcionamiento normal	Escenario de accidente	Operaciones de mantenimiento
Parámetro	Clima									
	Atmósfera									
	Fauna y flora									
	Hidrología									
	Ruidos									
	Impacto visual									
	Socioeconomía									

Leyenda

	Impacto positivo
	Impacto negativo
	Impacto insignificante
	No aplica

1.5. Programa de vigilancia ambiental

1.5.1. Descripción general

El Programa de Seguimiento y Vigilancia Ambiental tiene como objetivo proporcionar los mecanismos necesarios para controlar los posibles impactos medioambientales derivados de la construcción y puesta en funcionamiento de la planta de este proyecto. El programa de cumplir con lo siguiente:

- Seguimiento y control de las diferentes actuaciones llevadas a cabo durante la obra de ejecución de este proyecto. El seguimiento abarca tanto el período de obras como el correspondiente a la garantía.
- Seguimiento y control de las condiciones ambientales en la fase de explotación durante un tiempo variable.

Este Programa de Vigilancia Ambiental lo lleva a cabo una entidad ajena a las implicadas en el diseño del proyecto, y debe estar ligada tanto a la dirección de obra como a la asesoría fiscal del proyecto. Los medios bajo los cuales puede llevarse a cabo este programa son:

- Medios humanos: las labores de seguimiento durante las obras se realizan por una persona que tenga experiencia en el ámbito y que disponga de los conocimientos necesarios sobre el medio ambiente que le permitan llevarlo a cabo. Para interpretar los datos y solucionar los problemas que se puedan presentar, el responsable medioambiental debe disponer de un equipo de consultores externos que sean expertos en cada uno de los temas objeto de estudio.
- Medios materiales: el equipo de vigilancia que realice este estudio debe disponer en todo momento de los materiales e instrumentación que considere necesarios para realizar las mediciones y toma de datos del estudio.

1.5.2. Ejecución y operación

La realización del Programa de Vigilancia Ambiental debe seguir un orden específico a fin de mejorar la eficacia de los resultados y simplificar la labor de los operarios.

El primer paso consiste en la preparación y puesta a punto de los medios de vigilancia, tanto humanos como materiales, que se consideren necesarios para realizar el estudio. Una vez que se disponga de todo el material, se debe proceder a la toma y clasificación de los datos objeto de estudio. Los datos se deben almacenar y clasificar en un archivo para la posterior interpretación de los mismos por un experto en la materia.

Tras extraer las conclusiones oportunas de los datos de referencia, la siguiente etapa consiste en la elaboración de un plan de acción que identifique el origen de los fallos y las medidas correctoras que se deben implantar.

El último paso consiste en realizar cambios y mejoras en el programa, siendo la Asesoría Ambiental el organismo que decida qué modificaciones han de llevarse a cabo en el programa para obtener una mejor eficacia.

En cada una de las etapas anteriores se deben redactar los siguientes documentos:

- Archivo de medios materiales: recopila toda la información relativa a los medios materiales que se emplean en el programa, prestando especial atención a sus fichas técnicas, garantías y reparaciones que se les hayan realizado durante el proceso.
- Diario de seguimiento ambiental: recoge toda la información obtenida en las observaciones de campo y las acciones que se llevaron a cabo en el proceso. Se deben reflejar además las incidencias que surgieron, el nivel de cumplimiento de las normas o las medidas de seguridad llevadas a cabo. Debe estar disponible para las autoridades ambientales siempre que se requiera.
- Informes-resumen periódicos: son elaborados por la asesoría fiscal y resumen las observaciones, resultados, conclusiones o recomendaciones que se hayan anotado en el diario de seguimiento ambiental. Se deben realizar mensualmente durante la fase de obras y anualmente, como mínimo, durante la fase de actividad industrial.
- Informe anual de medidas correctoras: reflejan la eficacia y el grado de aplicación de las medidas correctoras sugeridas. Se incluirán nuevas medidas en los siguientes casos:
 - Si se produce insuficiencia en las medidas correctoras introducidas anteriormente.
 - Si se producen impactos ambientales nuevos.
 - Si los nuevos avances tecnológicos permiten aplicar sistemas más eficaces.

1.5.3. Actividades de seguimiento

En este apartado se identifican los aspectos a controlar, el objeto de estudio, la ubicación de control, el medio de control, la duración y periodicidad con la que se efectúan las tomas de datos y los parámetros de control para los principales impactos que se han mencionado a lo largo de este Estudio de Impacto Ambiental.

1.5.3.1. Clima

- Aspecto a controlar: variables climáticas significativas.
- Objeto: comprobar y evitar los impactos en el clima derivados de la construcción y la operación en planta.
- Ubicación del control: los datos se recogen y recopilan en las estaciones meteorológicas más cercanas. Son publicados por la Agencia Estatal de Meteorología y su acceso es público.
- Medio de control: recopilación de datos actuales y comparación con datos de situaciones previas a la implantación de la instalación.

- Duración y periodicidad: se realizan controles anuales.
- Parámetros de control: temperaturas, precipitaciones, humedad relativa, velocidad y dirección del viento.

1.5.3.2. Calidad del aire

- Aspecto a controlar: nivel de contaminación del aire en la zona de emplazamiento de la instalación.
- Objeto: cuantificar las emisiones de contaminantes de la planta y los efectos sobre la calidad habitual del aire en la zona.
- Ubicación del control: durante la fase de obra, los datos se recogen en la zona de mayor tráfico de maquinaria, y durante la fase de explotación se toman muestras en los puntos de emisión de la planta.
- Medio de control: dispositivo medidor de concentración de contaminantes en las emisiones gaseosas.
- Duración y periodicidad: se lleva a cabo un control cada 12 horas, pues se considera que la calidad del aire del medio es un aspecto importante.
- Parámetros de control: concentraciones en aire de sustancias contaminantes.

1.5.3.3. Hidrología

- Aspecto a controlar: calidad de las aguas superficiales en las que se produce el vertido de efluentes previamente tratados, y control de calidad de los depósitos de aguas subterráneas.
- Objeto: comprobar que la calidad del agua no se ve alterada por los vertidos de la instalación, comparando los datos actuales con valores históricos.
- Ubicación del control: en la propia obra durante la construcción y en los puntos de vertido a las aguas superficiales durante la explotación.
- Medio de control: medida de diferentes parámetros del agua en el laboratorio.
- Duración y periodicidad: análisis de agua diario para comprobar que no existe vertido accidental.
- Parámetros de control: identificación correcta de los posibles vertidos que se puedan producir, y mantener un orden y limpieza adecuados en la instalación.

1.5.3.4. Fauna y flora

- Aspecto a controlar: modificación de la flora y fauna local ocasionada por la instalación.
- Objeto: controlar que la instalación no influya en la flora y fauna local.
- Ubicación del control: cercanías a la instalación.
- Medio de control: observación del ecosistema por un especialista.
- Duración y periodicidad: inspección mensual en la fase de obra y anual en la fase de explotación.
- Parámetros de control: variación del número de especies vegetales y animales y de sus características biológicas.

1.5.3.5. Ruido

- Aspecto a controlar: nivel de ruido de la instalación.
- Objeto: comprobar y controlar las emisiones de ruido durante las fases de construcción y explotación para no superar los límites establecidos por la ley ni causar molestias a la población colindante.
- Ubicación del control: en la propia parcela durante la construcción y en los puntos de mayor emisión de ruido durante la explotación.
- Medio de control: dispositivo medidor de nivel de ruido, sonómetro.
- Duración y periodicidad: dos veces por semana durante las obras y semanalmente tras la construcción.
- Parámetros de control: nivel de ruido emitido, y comparación de datos con los límites establecidos por la legislación.

1.5.3.6. Impacto visual

- Aspecto a controlar: alteración en el paisaje por instalación de la planta.
- Objeto: controlar el nivel de alteración paisajística de la zona.
- Ubicación del control: en la propia parcela.
- Medio de control: inspección visual.

- Duración y periodicidad: dos veces por semana durante las obras y al comienzo de la actividad productiva.
- Parámetros de control: comprobar que la zona cumple los requisitos de orden y limpieza durante la fase de construcción.

1.6. Conclusiones del Estudio de Impacto Ambiental

Según los resultados obtenidos en el estudio, es posible realizar una valoración global del impacto producido por la instalación de la planta química de γ -butirolactona en la ubicación seleccionada. Predominan los impactos compatibles, es decir, aquellos cuya recuperación es inmediata tras el cese de la actividad productiva, pero no se debe obviar la existencia de impactos moderados sobre los que es necesario aplicar medidas correctoras para prevenir y minimizar su efecto en el medio.

Los impactos más significativos derivados de la instalación de la planta son:

- Existencia de ruidos, fundamentalmente en la fase de obra por la utilización de maquinaria pesada y tráfico concurrido, que por proximidad a dos núcleos urbanos puede generar molestias en la población.
- Contaminación atmosférica por levantamiento de polvo y emisión de gases de combustión durante la fase de construcción, y pequeña cantidad de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero emitidos durante el proceso productivo.
- Contaminación de las aguas en caso de vertido accidental de aguas residuales durante la fase de explotación y servicios de limpieza.

En general, el proceso productivo en funcionamiento normal no influye negativamente en el medio ambiente. Se ha estudiado el empleo de materiales no tóxicos durante la fase de diseño, por ejemplo, la selección del catalizador y del aceite térmico, e implementado sistemas de integración para reducir las necesidades energéticas. Todo ello teniendo en consideración las MTD recogidas en los BREF correspondientes.

El proyecto en sí es positivo para la zona pues mejora su desarrollo socioeconómico al ofrecer puestos de trabajo directos e indirectos y fomenta el comercio local al requerir la compra de materia prima en industrias y distribuidores locales.

2. Estudio de Seguridad y Salud

2.1. Antecedentes y objeto del estudio

El presente Estudio de Seguridad y Salud pretende establecer los riesgos laborales previstos durante las fases de obra, reparación o mantenimiento de la instalación, incluyendo el período de garantía, y las medidas que se deben adoptar para evitarlos o reducirlos. Asimismo, se definen las instalaciones preceptivas de higiene y bienestar de los trabajadores que se deben implementar durante el desarrollo de las actividades proyectadas.

Este estudio se realiza de obligado cumplimiento según lo establecido por el artículo 4 del Real Decreto 1627/1997, de 24 de noviembre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, y servirá para recoger las directrices básicas que necesita la empresa constructora para llevar a cabo la elaboración de un Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo.

2.2. Características de la obra

La obra de este proyecto tiene como objetivo la construcción de una planta de producción de γ -butirolactona ubicada en la parcela P-87 del polígono industrial de Guadarranque, en el municipio de San Roque, Cádiz. El proceso de obra cuenta con las fases siguientes:

- i. *Reconocimiento de la zona por el Contratista, acompañado de la Propiedad o de la Dirección Técnica de Obra.*

Es conveniente que el Contratista Adjudicatario de la construcción de la planta de este proyecto visite previamente la obra junto a personal de la Propiedad, a fin de comprobar si se dispone de los medios, maquinaria y personal adecuados para la ejecución de la misma, además de poder emitir un presupuesto lo más coherente posible de acuerdo a las características del proyecto.

- ii. *Organización previa de los trabajos a realizar.*

Se trata de la organización del Contratista Adjudicatario con la Dirección Técnica y el coordinador de Seguridad y Salud en la fase de ejecución, con el objetivo de elaborar las directrices adecuadas a cada tipo de actividad en la obra. En esta fase, el contratista deberá realizar una planificación de sus trabajos, la cual será incluida dentro de su Plan de Seguridad y Salud, así como evaluar los riesgos de la actividad que se va a acometer. Dicho Plan de Seguridad y Salud será aprobado por el Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución.

- iii. *Obtención de las licencias y permisos de obra civil requeridos.*

Será indispensable conseguir todas aquellas autorizaciones o documentos legales necesarios para poder realizar los trabajos.

iv. *Organización de zona de obra en la que se desarrollen tareas de desbroce, movimientos de tierra o construcción de accesos.*

Para organizar el lugar de la obra es necesario una evaluación previa por parte del Contratista y el conocimiento por parte del personal de obra del procedimiento de actuación. Los aspectos que se tienen en cuenta para la organización son los siguientes:

- Accesos de la obra (tráfico rodado, peatones, personal, etc.)
- Interferencias con servicios afectados (agua, gas, etc.) que puedan derivarse de la ejecución de los trabajos.
- Comprobación de todo el material de construcción.
- Ubicación de la maquinaria necesaria para realizar los trabajos de construcción.
- Extintores de incendio
- Accesos de maquinaria pesada a la hora de situar la maquinaria en las instalaciones (posición de la grúa, medidas de tonelaje a manejar, radio de actuación de la grúa, etc.)

v. *Desarrollo de los trabajos de construcción.*

La realización de los trabajos incluye lo siguiente:

- Cimentaciones.
- Montaje de equipos y tuberías.
- Colocación de anclajes y depósitos.
- Soldaduras.
- Comprobación de las soldaduras mediante rayos X.
- Colocación de válvulas, accesorios y equipos de medida y control.

2.2.1. Tipología y características de los materiales y elementos

Entre los materiales, componentes y elementos que se van a encontrar en la obra, destacan los mostrados a continuación:

- Equipos.
- Válvulas y tuberías.
- Maquinaria pesada.

- Pequeña maquinaria y herramientas.
- Vallas de la obra.

2.2.2. Tráfico rodado

Como norma general, en relación con el modo de efectuar las ocupaciones, no se podrá cortar ninguna calle ni producir estrechamientos en sus calzadas superiores a 3 metros libres. No obstante, esto se puede condicionar siempre con el consentimiento del Ayuntamiento o Comunidad de vecinos correspondiente.

Asimismo, en las ocupaciones que afecten a las aceras y puntos de la calzada debidamente señalizados, como pasos de peatones, deberá respetarse el paso de los mismos. En el caso de existencia de una zanja o excavación a menos de un metro de distancia de un paso de peatones, será de obligado cumplimiento la instalación de una barandilla de protección.

2.2.3. Unidades de construcción previstas en la obra

Conforme al plan de ejecución de la obra, se definen las siguientes actividades de obra:

- Organización del solar donde se va a ejecutar el montaje.
- Recepción de maquinaria, medios auxiliares y herramientas.
- Colocación de tierras y rellenos.
- Colocación de depósitos.
- Montaje de equipos y tuberías.
- Soldaduras y comprobación de las mismas.
- Colocación de válvulas, accesorios y equipos de medida y control.
- Obras complementarias y remates.
- Trabajos en vías públicas de carácter ocasional.

2.2.4. Maquinaria prevista para la realización de la obra

- Camiones de transporte de materiales.
- Camión-grúa para la carga de material de desecho.
- Grúa auto transportadora para la elevación y descarga de equipos.

- Maquinaria y herramientas en general.
- Rozadora radial eléctrica.

Toda esta maquinaria ha de ser comprada o alquilada por el Contratista Adjudicatario o por algún Subcontratista bajo el control directo del primero, y se ha de mantener en buen estado para evitar funcionamiento erróneo o accidentes.

2.2.5. Medios auxiliares previstos para la realización de la obra

Se prevé el empleo de los siguientes medios auxiliares para las actividades de obra:

- Andamios.
- Escaleras de mano.
- Cuerdas, pequeño material auxiliar.
- Cables.

Conforme al apartado anterior, los materiales han de ser comprados o alquilados por el Contratista Adjudicatario o algún Subcontratista a quien releve este cargo.

2.2.6. Oficios cuya intervención es objeto de la Prevención de Riesgos Laborales

Las actividades de obra descritas se completan con los trabajos de los siguientes oficios:

- Albañilería
- Montadores de equipos.
- Maquinistas y transportistas.

2.2.7. Métodos de limpieza y recogida de escombros

Al final de la jornada laboral, un empleado será el encargado de recopilar los escombros y desechos que se generen en cada zona durante la ejecución de la obra. A continuación, uno o varios *dumpers* (vehículos de motor de caja delantera destinados a la recogida y volcado de material de obra) se encargarán de transportar los escombros para depositarlos junto a las casetas de obra o en lugares indicados para dicha acción.

Parte de esos escombros podrán ser quemados al final de la jornada laboral, disponiendo de un recinto vallado para tal función. El resto de los escombros serán trasladados a un vertedero.

En los planos de seguridad de la instalación, se deberá indicar el lugar habilitado para el acopio de escombros, así como el lugar dispuesto para poder quemar algún tipo de escombros.

2.2.8. Almacenamiento y depósito de materiales

Será necesario habilitar locales o casetas de almacenamiento de materiales y elementos de obra. Para el mantenimiento de tierras se dispondrá de recintos delimitados en todo su perímetro y separando correctamente los diferentes terrenos. El lugar de acopio estará a una distancia tal que facilite su accesibilidad en caso de necesidad.

El almacenaje se realizará a la intemperie, pero en caso de que se moje no se podrá utilizar hasta que se seque por completo. Por otro lado, las maderas y materiales para los encofrados se almacenarán en un local cerrado y protegido del exterior para impedir que se mojen al igual que los sacos de cemento y mortero prefabricados.

Las tuberías acopiarán en función del tipo de material y en un local delimitado en todo su perímetro y a la intemperie. Se acopiarán en los paquetes que vienen de fábrica, colocados de tal manera que se impida la caída de los tubos, pudiendo provocar accidentes.

Las válvulas se almacenarán en locales totalmente cerrados y protegidos del exterior, agrupando cada tipo según se crea conveniente. El local estará próximo a las casetas de los trabajadores para facilitar su accesibilidad.

Si la instalación se utilizan materiales tóxicos y o inflamables para alguna actividad de la obra, se deberán guardar dichos materiales en una caseta independiente y de forma individual para evitar accidentes.

2.2.9. Delimitación de espacios y lugares o zonas de paso y circulación

Se delimitarán los espacios destinados a la circulación de la maquinaria y camiones por toda la obra en función de las diferentes actividades a ejecutar. Se independizarán las zonas de circulación de vehículos y de personal de obra mediante el empleo de cintas de señalización y vallado de obra.

Para facilitar la circulación y delimitación de las diferentes zonas de la obra se colocarán balizamientos luminosos que sirvan como señalización visual en situaciones de poca luz natural.

En caso de producirse una situación característica que no estaba prevista en un principio, se señalará y delimitará la zona afectada con los medios que se consideren necesarios.

2.2.10. Mantenimiento y limpieza de los servicios durante la obra

Será necesario la elaboración y aplicación de un programa adecuado de orden y limpieza por parte del Contratista mediante la contratación de un servicio ajeno dedicado a la limpieza de comedores y de los vestuarios. Esta limpieza se llevará a cabo dos veces al día, una después de la jornada de mañana y otra tras el final de la jornada laboral.

En complemento al servicio de limpieza, se nombrará por parte del Contratista a un retén de dos operarios para auxiliar el servicio de limpieza en previsión de posibles emergencias. Asimismo, se controlará el buen uso de las instalaciones, así como su mantenimiento en previsión de conservación y posibles reparaciones.

2.3. Identificación y análisis de riesgos

En este apartado se realiza una lista de los riesgos existentes durante el montaje construcción de la instalación de este proyecto.

2.3.1. Movimientos de tierra

Por movimiento de tierra se entiende a la explanación, relleno y compactación del terreno de la parcela. Los riesgos que se consideran más importantes son:

- Desprendimiento de materiales (piedras, tierra, etc.).
- Caídas a distinto nivel (caídas en zanjas o desde la caja de un vehículo).
- Caídas al mismo nivel.
- Vuelco en maniobras de carga y descarga.
- Accidentes durante la circulación de vehículos.
- Atropellos de peones.
- Accidentes por conducción en ambientes o terrenos adversos.
- Accidentes por conducción en ambientes y/o terrenos adversos.

2.3.2. Estructuras de hormigón

Incluye los riesgos propios del trabajo con hormigón, entre los que destacan:

- Sobreesfuerzos.
- Pisadas sobre objetos punzantes.
- Caídas al mismo nivel.
- Caídas a distinto nivel.
- Dermatitis por contacto con el cemento.
- Inhalación de polvo o cemento.
- Corte con bordes en las estructuras.
- Vibraciones.
- Ruido.

2.3.3. Trabajos en altura

Se hace referencia a aquellos trabajos que se realicen sobre andamios o escaleras. Los riesgos principales que se consideran son:

- Caídas a distinta altura.
- Deslizamientos y resbalones.
- Heridas por golpes o cortes.
- Trabajos en condiciones ambientales adversas.
- Riesgos a terceros por caída de objetos desde altura.

2.3.4. Trabajos de albañilería

Hace referencia a aquellos trabajos asociados a la reparación y montaje de tuberías o válvulas, y al saneamiento o instalación de pozos. Los riesgos principales que se consideran son:

- Caídas al mismo nivel.
- Caídas a distinto nivel.
- Heridas por golpes o cortes.
- Sobreesfuerzos.
- Desplome de taludes.

2.3.5. Trabajos de soldadura y oxicorte

Se incluyen los trabajos de soldadura que se llevan a cabo sobre superficies metálicas durante la construcción de la planta. Los principales riesgos son:

- Daños oculares y dérmicos.
- Explosiones.
- Choque eléctrico.
- Cortes.
- Exposición a humos y gases tóxicos.
- Sobreesfuerzos.

2.3.6. Instalación eléctrica

Hace referencia a los trabajos con electricidad, y se consideran los siguientes:

- Choque eléctrico.
- Caídas al mismo nivel.
- Caídas a distinto nivel.

2.4. Medidas de prevención y protección

Los accidentes laborales suponen un coste humano y económico para el accidentado, la empresa y la sociedad, por lo que es necesario dedicarle una especial importancia a su prevención. Es por este motivo que se deberá fomentar la formación del personal para que disponga de un conocimiento general de los riesgos a los que se expone y tome conciencia de su prevención.

Las medidas de prevención se adoptan para evitar y minimizar el efecto de los riesgos asociados al proceso de obra que se han mencionado en los apartados anteriores. A continuación, se describen las medidas de prevención que se han de implementar, las medidas de protección colectivas a utilizar y los equipos previstos de protección individual.

2.4.1. Equipos de protección individual

Los equipos de protección individual (EPI) son aquellos equipos destinados a su utilización por parte del personal de obra que le proteja de uno o varios riesgos que se puedan presentar debido a su actividad de trabajo, así como a cualquier complemento o accesorio destinado al mismo fin. Están regulados por el Real Decreto 773/1197, de 30 de mayo, sobre Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud relativas a la utilización de protección individual, y por las normas de desarrollo reglamentario previsto en el Artículo 6 de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales.

Todos los EPIs dispondrán del marcado “CE” que certifica que cumplen con los criterios técnicos y de calidad exigidos por la legislación europea vigente. El organismo encargado de las certificaciones en España es AENOR.

Todos los trabajos, sin exclusión de especialidades o categorías, están obligados a utilizar y conservar las prendas de protección individuales que sean de aplicación al trabajo que se vaya a realizar. El Adjudicatario entregará a su personal todos los medios de protección individual necesarios, reponiéndolos en caso de deterioro.

2.4.1.1. Cascos

Los cascos son obligatorios para los trabajadores con riesgo de impacto por objetos a distinto nivel o que se proyecten desde otros puntos. Han de ser de estar fabricados de

polietileno rígido y estar provistos de arnés regulable y bandas de amortiguación. Los cascos deben estar homologados, debiendo cumplir las condiciones impuestas por las Normas Técnicas de Prevención MT-1 ofrecidas por el Ministerio de Trabajo.

2.4.1.2. Guantes de seguridad

Los guantes estarán confeccionados en materiales naturales o sintéticos, no rígidos, impermeables y de características mecánicas adecuadas. Se deberán desechar aquellos con orificios, grietas o cualquier deformación o imperfección que merme sus propiedades. El tipo de guante de seguridad que se utilizará dependerá del tipo de trabajo que se vaya a realizar y de la clase de productos manipulados. Los guantes que se pueden emplear son:

- Guantes de neopreno: en aquellas labores con manejo de hormigones, morteros, yesos u otras sustancias tóxicas formadas por aglomerados hidráulicos.
- Guantes de cuero: para manejar los materiales que normalmente se utilizan en la obra.
- Guantes aislantes, baja tensión: utilizados cuando se manejen circuitos eléctricos o máquinas que estén o tengan posibilidad de estar con tensión.
- Guantes para soldar: para trabajos de soldadura

2.4.1.3. Botas reforzadas de seguridad

Se pueden distinguir dos tipos de botas:

- a) Botas de seguridad reforzadas: diseñadas para ofrecer protección frente a impactos con niveles de energía de 200 J. Están compuestas por la bota propiamente dicha, hecha en cuero, con una puntera reforzada interiormente con plancha metálica que impide el aplastamiento de los dedos en caso de caída de objetos pesados. Las suelas son metálicas e impiden el paso de los elementos punzantes a su través, con un revestimiento exterior antideslizante.
- b) Botas impermeables: utilizadas en trabajos en los que existe el agua o humedad, debiendo secarse cuando varían las condiciones de trabajo. Están fabricadas por material de caucho o goma en una sola pieza y revestidas en su interior por una felpilla recogedora de sudor.

2.4.1.4. Pantallas de protección

Se emplean cuando es necesario realizar trabajos de soldadura. El armazón está fabricado con materiales opacos a las radiaciones, y estarán provistas de filtros u oculares adecuados a la intensidad de las radiaciones existentes derivadas de las actividades. Se pueden diferenciar dos tipos de pantallas de protección:

- a) Pantalla, soldadura de mano: empleadas en trabajos de soldadura que permitan utilizar una mano para sostener la pantalla.
- b) Pantalla, soldadura de cabeza: empleadas en trabajos de soldadura eléctrica.

2.4.1.5. Gafas de protección

Usadas en trabajos con riesgo de impacto de partículas, salpicaduras de polvo (cemento, riegos), atmósferas contaminadas, etc. Estas gafas de protección deben disponer, además, de unos oculares de resistencia adecuada, un diseño de montura y unos elementos adicionales capaces de proteger el ojo en cualquier dirección.

2.4.1.6. Protectores auditivos

Los protectores auditivos pueden ser de dos tipos:

- a) Protectores externos (orejeras): cubren totalmente el pabellón auditivo, constan de dos casquetes y un arnés de fijación con una almohadilla absorbente y un cojín para la adaptación a la oreja.
- b) Protectores internos (tapones): se introducen en el canal externo del oído y su poder de atenuación es menor que el de las orejeras, sin embargo, son más fáciles de transportar y facilitan el movimiento del trabajo.

2.4.1.7. Mascarillas auto filtrantes

Tienen la función de proporcionar al trabajador que se encuentra en un ambiente contaminado, del aire que precisa para respirar en debidas condiciones higiénicas. Se utilizan en todos los trabajos en los que se produzca polvo que pueda afectar a las vías respiratorias.

Las mascarillas están compuestas por el cuerpo de la mascarilla, un arnés de sujeción de bordes ajustable y una válvula de exhalación, debiendo estar homologada según las Normas Técnicas de Prevención MT-13 del Ministerio de Trabajo.

2.4.1.8. Ropa de protección

La ropa de protección cubrirá la totalidad del cuerpo. Como norma general cumplirá los siguientes requisitos:

- Será de tejido ligero y flexible.
- Permitirá una fácil limpieza y desinfección.
- Se ajustará bien al cuerpo sin perjuicio de su comodidad y facilidad de movimientos.

- Con el fin de evitar enganches y la acumulación de suciedad, se eliminará en lo posible el uso de elementos adicionales como cordones, botones, partes vueltas cara arriba, etc.

Para la protección de los operarios contra el calor se emplearán trajes en cuero. Para la protección de los operarios contra el frío se emplearán prendas a base de tejidos acolchados con materiales aislantes. Se dispondrán además de prendas de señalización tales como cinturones, brazaletes, guantes, chalecos, etc. para ser empleados en lugares de poca iluminación, en trabajos nocturnos o en trabajos que impliquen riesgos de colisión, atropellos, etc.

2.4.2. Sistemas de protección colectiva

Una adecuada planificación y ejecución de protecciones individuales no conseguirá evitar completamente los riesgos asociados a las actividades de obra, por lo que se deben adoptar medidas y elementos protectores de carácter colectivo. Estas protecciones consistirán en señalizaciones de peligro y zonas inseguras, pasarelas para acceso a los tajos, andamios, zonas de paso protegidas o sistemas adecuados de iluminación.

Los elementos de protección colectiva han de permanecer instalados y en perfecto estado de mantenimiento en todo momento, y en caso de rotura o deterioro se deberán reponer con la mayor diligencia. Las medidas de protección colectiva necesarias en función de los trabajos y oficios presentes en la obra se detallan en los apartados siguientes.

2.4.2.1. Movimiento de tierras

- Correcta señalización de los diferentes riesgos.
- Prohibida la circulación de personal dentro del radio de acción de la maquinaria.
- La circulación del personal y vehículos estará restringida a rutas previamente diseñadas y señalizadas.
- Mantenimiento cuidado de las vías de circulación.
- Todo el personal que maneje vehículos o cualquier otra maquinaria debe estar en posesión de la correspondiente Certificación de Capacitación.
- Revisión periódica de los vehículos y maquinaria.
- Prohibido el transporte de personal fuera de la cabina de conducción del vehículo.

2.4.2.2. Estructuras de hormigón

- Correcta señalización de los diferentes riesgos.
- Prohibida la circulación de personal dentro del radio de acción de la maquinaria.
- El desencofrado se realizará con ayuda de uñas metálicas.
- Las barras se almacenarán ordenadamente y no interceptarán pasos.
- Las zonas de trabajos se mantendrán limpias y ordenadas.
- El camión hormigonera será calzado convenientemente durante el vertido del hormigón.
- Correcto equilibrio de andamios y otras estructuras que impidan su desplome y el consiguiente accidente.
- Medidas adicionales durante el trabajo con el cemento fresco e inestable.

2.4.2.3. Trabajos en altura

- Correcta señalización de los diferentes riesgos.
- Las plataformas, andamios y pasarelas que supongan para los trabajadores con riesgo de caída de altura superior a dos metros, se protegerán mediante barandillas de protección.
- Los trabajos en altura que así lo permitan se realizarán con ayuda de equipos diseñados para tal fin.
- Capacitación del personal.
- Verificación del correcto estado e instalación de los distintos medios empleados.

2.4.2.4. Trabajos de albañilería

- Correcta señalización de los diferentes riesgos.
- Conocer detalladamente las estructuras de tuberías subterráneas que pudiera haber para que no se vean afectadas.
- Realizar las señalizaciones oportunas y equiparse adecuadamente para acceder a zanjas profundas.

- Colocar los tubos adecuadamente y sujetos, para evitar su desplazamiento.
- Emplear detectores de gases ante posibles fugas de tuberías subterráneas.

2.4.2.5. Trabajos de soldadura

- Correcta señalización de los diferentes riesgos.
- Empleo de los sistemas de extracción local, ventilación general y protección sanitaria del personal, según será el caso.
- Prohibido el uso de grasas en la manipulación de las botellas de oxígeno.
- Las botellas o bombonas se almacenarán en posición vertical, convenientemente separadas entre sí, y a cubierto de las inclemencias del tiempo.
- Correcta capacitación del personal.

2.4.2.6. Instalación eléctrica

- Instalación eléctrica debe ajustarse al Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y ser realizado por un instalador homologado.
- Las tomas de corriente estarán provistas de neutro de enclavamiento y serán blindadas.
- En los trabajos en condiciones de vida muy elevada, es preciso el empleo de un transformador portátil de seguridad de 24V o protección mediante transformador de separación en circuitos.
- Cuando existan líneas de tendido eléctrico aéreas que puedan afectar a seguridad en la obra será necesario desviarlas fuera del recinto o dejarlas sin techo. Si esto no fuera posible, se colocarán barreras o avisos para que los vehículos y las instalaciones se mantengan alejados de las mismas.

2.4.2.7. Trabajos con maquinaria

- Serán siempre efectuados por operarios capacitados para ello.
- Se mantendrán siempre en buen estado técnico y con una correcta limpieza, y cumplirán siempre las normas del reglamento de seguridad en máquinas para evitar accidentes

2.4.2.8. Señalización

La normativa vigente establece una serie de características sobre las dimensiones, colores, símbolos y formas de las señales que proporcionan una determinada información clara relativa a la seguridad.

Los pictogramas serán lo más sencillos posible, evitándose detalles inútiles para su comprensión. Las señales se instalarán preferentemente una altura y una posición apropiadas en relación al ángulo visual, teniendo en cuenta posibles obstáculos, en la proximidad inmediata del riesgo u objeto que deba señalizarse o, cuando se trate de un riesgo general, en el acceso a la zona de riesgo.

Según el Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo, se diferencian los siguientes tipos de señales existentes:

- Señales de advertencia: tienen forma triangular. El pictograma es negro sobre fondo amarillo (el amarillo deberá cubrir como mínimo el 50% de la superficie de la señal), con bordes negros. Como excepción, el fondo de la señal sobre “materias nocivas o irritantes” será de color naranja, en lugar de amarillo, para evitar confusiones con otras señales similares utilizadas para la regulación del tráfico por carretera.
- Señales de prohibición: tienen forma redonda. El pictograma es negro sobre fondo blanco, con bordes y banda rojos.
- Señales de obligación: tienen forma redonda. El pictograma es blanco sobre fondo azul (el azul debe cubrir como mínimo el 50% de la superficie de la señal).
- Señales relativas a los equipos de lucha contra incendios: tienen forma rectangular o cuadrada. El pictograma es blanco sobre fondo rojo (el rojo deberá cubrir como mínimo el 50% de la superficie de la señal).
- Señales de salvamento socorro: tienen forma rectangular o cuadrada. El pictograma es blanco sobre fondo verde (el verde debe cubrir como mínimo el 50% de la superficie de la señal).

2.4.2.9. Andamios

Los andamios tendrán que armarse y organizarse de manera adecuada para asegurar su estabilidad y permitir que los trabajadores puedan permanecer en ellos con las debidas condiciones de seguridad. Antes de su primera utilización, deberán ser sometidos por una persona competente a la práctica de un reconocimiento y una prueba a plena carga.

La anchura del andamio será la necesaria para permitir una buena circulación de los trabajadores y el adecuado almacenamiento de las herramientas y materiales que se necesiten. Además, todo el contorno del andamio correcta peligro de caída será protegido con barandillas sólidas y rígidas, de madero metálicas, de 0,90 metros de anchura.

2.4.2.10. Protección contra caídas de personas y objetos

Para la protección de personas y objetos contra las caídas, existen determinados elementos que se muestran a continuación:

- Tapas de aberturas: son tableros que se colocan en los huecos horizontales de servicios y patinejos.
- Barandillas de protección: se colocan en el perímetro de huecos verticales y plataformas de trabajo siempre que exista un desnivel superior a 2 metros.
- Redes de seguridad: sus dimensiones se ajustarán al hueco a proteger y estarán fabricados en poliamida de alta densidad.
- Escaleras portátiles: han de ser preferentemente de aluminio o hierro y estarán dotadas de zapatas. Además, han de reunir las garantías necesarias de solidez, estabilidad y seguridad.

2.4.3. Medidas preventivas de la maquinaria de obra

Como añadido a las medidas de carácter individual y colectivo, también se deben tener en cuenta consideraciones acerca de la maquinaria empleada en los trabajos de obra.

2.4.3.1. Camión de transporte

Los camiones de transporte deben estar en perfectas condiciones de mantenimiento y conservación. Las operaciones de carga y descarga del material ante efectuarse en los lugares señalados para tal fin. Antes de iniciar las maniobras de carga y descarga se debe instalar el freno de mano y los calzos de inmovilización de las ruedas. Las operaciones de aparcamiento y salida de camiones han de ser dirigidas por un señalista, así como las operaciones de carga y descarga.

Las cargas se instalarán sobre la caja de una forma uniforme, compensando pesos. Las pistas interiores de circulación de camiones tendrán un ancho mínimo de seis metros y una pendiente máxima del 12% en tramos rectos y del 8% en curvas. El colmo máximo permitido para materiales sueltos será con una pendiente del 5%, debiendo protegerse la carga con una lona para evitar desplomes del mismo.

2.4.3.2. Camión grúa

Al igual que para los camiones de transporte, las maniobras de carga y descarga efectuadas por los camiones grúa serán dirigidas por un especialista en prevención de riesgos, y previamente han de instalarse los calzos inmovilizadores en las cuatro ruedas.

Los ganchos de cuelgue estarán dotados de pestillos de seguridad. Se prevé sobrepasar la carga máxima fijada por el fabricante del camión, en función del brazo de grúa.

Ningún operario ha de situarse, bajo ningún concepto, debajo de una carga suspendida. Se prohíbe la permanencia de personas en torno al camión grúa a distancias inferiores a 5 metros.

2.4.3.3. Máquinas pequeñas y herramientas

Se considerarán las pequeñas herramientas tales como taladros, rozaduras, cepillado la metálica, sierras, radiales, etc. Estas máquinas estarán protegidas por la carcasa y resguardos.

Las reparaciones a manipulaciones se realizarán por su personal especializado y en situación de parada. Si se encuentran averiadas han de ser señalizadas con una señal de peligro. Las máquinas o herramientas con capacidad de corte tendrán el disco protegido mediante una carcasa anti proyecciones.

Se prohíbe la utilización de estas herramientas por personal no especializado y no se deberán dejar herramientas de corte abandonadas en el suelo.

2.5. Normas de actuación preventiva

2.5.2. Seguridad durante la construcción

2.5.2.1. Obligaciones de las partes implicadas

La empresa constructora estará obligada a cumplir las directrices en el Estudio de Seguridad a través de un Plan de Seguridad y Salud, coherente con los sistemas de ejecución que la misma vaya a utilizar. Además, tendrá que cumplir las estipulaciones previas del Estudio y el Plan de Seguridad y Salud, respondiendo solidariamente de los daños que se deriven de la infracción del mismo por su parte o de los posibles subcontratistas y empleados.

La Dirección Facultativa considerará el Estudio de Seguridad como parte integrante de la ejecución de la obra, correspondiente a la aprobación, el control y la supervisión de la ejecución del Plan de Seguridad y Salud, autorizando previamente cualquier modificación en éste, dejando constancia escrita en el Libro de Incidencias.

Además, periódicamente se llevarán a cabo las pertinentes certificaciones del Presupuesto de Seguridad y Salud, poniendo en conocimiento de la Propiedad y de los organismos el cumplimiento por parte de la empresa constructora de las medidas de Seguridad contenidas en el Estudio de Seguridad.

2.5.2.2. Medidas preventivas al inicio de los trabajos

Antes de comenzar a realizar los trabajos, el método de instalación y trabajo a seguir y los circuitos de circulación que afecten a la obra deberán estar aprobados por la Dirección Facultativa. Será necesario realizar un estudio de acondicionamiento de las zonas de trabajo para prever la colocación de plataformas, torres de paso y formas de acceso, y poderlos emplear de forma conveniente.

El personal estará instruido sobre la utilización correcta de los equipos de protección individual para la realización de su trabajo. En los riesgos puntuales y esporádicos de caída de altura se emplearán obligatoriamente el cinturón de seguridad, ante la imposibilidad de disponer de la adecuada protección colectiva o de la insistencia de regulación con respecto a la integración de la seguridad en el proyecto de ejecución.

2.5.2.3. Medidas durante la realización de los trabajos

Durante la realización del trabajo, las zonas de trabajo y circulación deberán permanecer limpias, ordenadas y bien iluminadas. Las herramientas y máquinas estarán en perfecto estado, empleándose las más adecuadas para cada uso, siendo utilizadas por personal autorizado o experto a criterio del encargado de la obra.

Los elementos de protección colectiva permanecerán en todo momento instalados y en perfecto estado de mantenimiento, siendo necesario reponerlos en caso de rotura o deterioro. Además, la señalización será revisada a diario de forma que en todo momento permanezca actualizada a las condiciones reales de trabajo.

2.5.2.4. Protecciones personales

Durante la ejecución de todos aquellos trabajos que conlleven un riesgo de proyección de partículas, se establecerá la obligatoriedad de uso de gafas de seguridad. Asimismo, en aquellos trabajos que se desarrollen en entornos con niveles de ruidos superiores a los permitidos por la normativa vigente, se deberán emplear protectores auditivos homologados según Norma Técnica MT-2.

La totalidad del personal que desarrolle trabajos en el interior de la obra utilizará cascos protectores que cumplan las especificaciones indicadas en la norma Técnica MT- 1 de Cascos de Seguridad. Durante la ejecución de todos aquellos trabajos que se desarrollen en ambientes de humos de soldadura, se facilitará a los operarios mascarillas respiratorias con filtro mecánico y de carbono activo contra humos metálicos.

Como medida preventiva frente a golpes en extremidades inferiores, se dotará al personal de botas de seguridad adecuadas. Además, todos los operarios utilizarán cinturón de seguridad dotado de arnés en aquellas operaciones en las que se realicen trabajos en altura

2.5.2.5. Organización general de seguridad en obra

- Comité de seguridad y salud: vigilante de seguridad

En las obras cuyo número de trabajadores exceda de 25, debe constituirse un Comité de Seguridad y Salud formado por: un técnico cualificado en materia de seguridad y que representa a la Dirección de la Empresa, dos trabajadores pertenecientes a las categorías profesionales o de oficio que más intervengan a lo largo del desarrollo de la obra, y un Vigilante de Seguridad, elegido por sus conocimientos y competencia profesional en materia de Seguridad y Salud

Las funciones de este Comité serán las reglamentarias estipuladas en el Artículo 8 de la Ordenanza General de Seguridad en el Trabajo.

Respecto al Vigilante de Seguridad, se establece:

- Será el miembro del Comité de Seguridad que, delegado por el mismo, vigile de forma permanente el cumplimiento de las medidas de seguridad tomadas en la obra.
- Informará al Comité de las anomalías observadas y será la persona encargada de hacer cumplir la normativa de Seguridad estipulada en la obra, siempre y cuando cuente con facultades apropiadas.
- La categoría del Vigilante, será cuando menos de oficial y tendrá dos años de antigüedad en la empresa, siendo por lo tanto trabajador fijo de plantilla.

Aparte de estas funciones específicas cumplirá todas aquellas que le son asignadas por el Artículo 9 de la Ordenanza General de Seguridad en el Trabajo:

- Obligaciones generales del vigilante de seguridad:
 - Promover el interés y cooperación de los trabajadores en materia de seguridad.
 - Comunicar a la Dirección Facultativa o Jefatura de Obra las situaciones de riesgo detectadas y la prevención adecuada.
 - Examinar las condiciones relativas al orden limpieza, ambiente, instalaciones y máquinas con referencia a la detección de riesgos profesionales.
 - Prestar los primeros auxilios a los accidentados.
 - Conocer con detalle el Plan de Seguridad y Salud de la obra.
 - Colaborar en la investigación de los accidentes.
- Obligaciones específicas del vigilante de seguridad:
 - Controlar la observancia de las normas de seguridad.
 - Dirigir la puesta en obra de las unidades de seguridad.
 - Dirigir las cuadrillas de seguridad.
 - Redactar los partes de accidente.
 - Controlar las existencias y acopios del material de seguridad.
 - Revisar la obra diariamente para detectar las posibles deficiencias en materia de seguridad.
 - Controlar las autorizaciones de manejo de maquinaria.

El nombramiento del Comité de Seguridad, en su caso, quedaría reflejado en un acta, debiendo entregarse copia de la misma a la Dirección Facultativa.

- Coordinador en materia de seguridad y salud:

Tanto durante la fase de redacción como en la fase de aplicación y control en obra del Estudio de Seguridad y Salud, deberá existir la figura del Coordinador en materia de Seguridad y Salud, que corresponderá al técnico competente designado por el promotor, el cual, bien durante la fase de proyecto o bien integrado en la Dirección Facultativa durante la ejecución de la obra, elabore (en el primero de los casos) y/o coordine y supervise (en el segundo caso) la correcta planificación y aplicación a los diferentes trabajos a desarrollar en la/s obra/s de los principios y tareas que se recogen y especifican en el Estudio de Seguridad y Salud elaborado a tal fin, tal como se refleja en el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre.

- Parte de accidente y deficiencias

Respetándose cualquier modelo normalizado que pudiera ser de uso normal en la práctica del contratista, los partes de accidente y deficiencias observadas recogerán como mínimo los datos expuestos a continuación, con una tabulación ordenada.

- Parte de accidente:

- Identificación de la obra.
- Día, mes y año en que se ha producido el accidente.
- Hora de producción del accidente.
- Nombre del accidentado, categoría profesional y oficio del accidentado.
- Domicilio del accidentado.
- Lugar en el que se produjo el accidente.
- Causas del accidente.
- Importancia aparente del accidente.
- Posible especificación sobre fallos humanos.
- Lugar, persona y forma de producirse la primera cura (médico, practicante, socorrista, personal de obra).
- Lugar de traslado para hospitalización.
- Testigos del accidente.

- Parte de deficiencias:
 - Identificación de la obra.
 - Fecha en que se ha producido la observación.
 - Lugar en el que se ha hecho la observación.
 - Informe sobre la deficiencia observada.
 - Plan de mejora de la deficiencia en cuestión.

2.5.3. Medicina preventiva y primeros auxilios

2.5.3.1. Botiquín de primeros auxilios

Se prevé la atención primaria a los accidentados mediante el uso de botiquines de primeros auxilios, manejados por personal competente. Contendrán el material especificado en la Ordenanza General de seguridad y Salud en el Trabajo. Serán revisados mensualmente y se repondrá de inmediato el material consumido.

2.5.3.2. Reconocimiento médico

Con el fin de lograr evitar en lo posible las enfermedades profesionales en la obra, así como los accidentes derivados de los trastornos físicos, psíquicos, alcoholismo y resto de las toxicomanías peligrosas, se prevé que el Contratista y los Subcontratistas, en cumplimiento de la legislación laboral vigente, realicen los reconocimientos médicos previos a la contratación de los trabajadores de la obra y los preceptivos de ser realizados al año de su contratación, y que asimismo, exija puntualmente este cumplimiento, al resto de las empresas que sean subcontratadas por cada uno de ellos para la obra.

En los reconocimientos médicos, además de las exploraciones competencia de los facultativos, se detectará lo oportuno para garantizar que el acceso a los puestos de trabajo se realice en función de la aptitud o limitaciones físico-psíquicas de los trabajadores como consecuencia de los reconocimientos efectuados.

2.5.3.3. Evacuación de accidentados

La evacuación de accidentados, que por sus lesiones lo requieran, está prevista mediante la contratación de un servicio de ambulancias, que el Contratista definirá exactamente a través de su plan de seguridad y salud.

La dirección y teléfono del Centro de Urgencias asignado estarán expuestos en un lugar visible para una rápida y efectiva asistencia a los accidentados.

2.5.3.4. Instalaciones de higiene y bienestar

Considerando el número previsto de operarios, se dispondrá de vestuarios y servicios higiénicos debidamente dotados. El vestuario dispondrá de taquillas individuales, con llave y asientos. El agua potable que se suministra a los distintos servicios será procedente de la red general de abastecimiento que exista en la zona.

Los servicios higiénicos dispondrán de un lavabo y una ducha con agua fría y caliente para cada diez trabajadores, y dos W.C. por cada veinticinco trabajadores, disponiendo de espejos y calefacción. Los lavabos se instalarán en un número suficiente, lo más cerca posible de los retretes. La limpieza y conservación de estos locales serán efectuadas por un trabajador con la dedicación necesaria, o por un servicio de limpieza ajeno.

El número de instalaciones sanitarias y la construcción e instalación de letrinas, retretes estarán provistos de un sistema de descarga automática de agua o tratamiento químico; las tuberías y demás elementos de las instalaciones sanitarias, deberán ajustarse a las prescripciones de las autoridades competentes. Las duchas y lavabos no deben utilizarse para ningún otro fin.

2.5.4. Mantenimiento preventivo

Las herramientas, máquinas y medios auxiliares deben disponer del sello de “Seguridad Comprobada (GS), certificado de AENOR u otro organismo equivalente de carácter internacional reconocido, o un certificado del fabricante, responsabilizándose de la calidad de los equipos y herramientas destinadas para su utilización en la obra.

Periódicamente se revisará la instalación eléctrica provisional de la obra corrigiendo los defectos de aislamiento y comprobándose las protecciones diferenciales y la toma de tierra.

En las máquinas eléctricas portátiles, el usuario revisará diariamente los cables de alimentación y conexiones, así como el correcto funcionamiento de sus protecciones. Las herramientas manuales serán revisadas diariamente, reparándose o sustituyéndose cuando su estado denote un mal funcionamiento o represente un peligro para el usuario.

Los accesos a la obra se mantendrán en buenas condiciones de visibilidad y en los casos que se considere oportuno se regarán las superficies transitadas para eliminar los ambientes polvorientos.

2.5.5. Plan de emergencia

El Plan de Emergencia es un documento que establece los procedimientos de actuación en caso de accidente en la planta. En este documento se analizan los riesgos de la planta y se darán todos los procedimientos con nombramiento de las personas implicadas, además del plan de evacuación, punto de encuentro y avisos a organismos.

Esto permitirá una buena organización ante posibles situaciones de emergencia que se produzcan en la planta, además de minimizar las consecuencias.

2.5.6. Plan de Seguridad y Salud

El contratista está obligado a redactar un Plan de Seguridad y Salud adaptándose a este Estudio de Seguridad y Salud. Este Plan será remitido a la Administración con un informe favorable del Coordinador en materia de Seguridad y Salud para su aprobación. Antes de comenzar las obras, el Adjudicatario comunicará por escrito a la Dirección Facultativa el nombre del máximo responsable entre el personal que se encuentre habitualmente en obra, quien tendrá en su poder una copia del Plan de Seguridad y Salud que se elabore.

El Plan de Seguridad a presentar para su aprobación por el Coordinador en materia de Seguridad y Salud debe incluir específicamente un Plan de emergencia en el que se detallen las actuaciones a desarrollar en el caso de un accidente o incendio. En concreto, se especificará como mínimo:

- Nombre, teléfono y dirección del centro donde deben acudir normalmente los accidentados.
- Teléfono de paradas de taxis próximas.
- Teléfono de Cuerpos de Bomberos próximos.
- Teléfono de ambulancias próximas.

Cuando tenga lugar algún accidente que precise asistencia facultativa, aunque sea leve y la asistencia médica se reduzca en una primera cura, se realizará una investigación del mismo y además de los trámites oficialmente establecidos, se pasará como muy tarde dentro del día siguiente al accidente, un informe a la Dirección Facultativa de la obra en el que se especifique:

- Nombre del accidentado.
- Día, hora y lugar del accidente.
- Descripción del mismo.
- Causas del accidente.
- Medidas preventivas para evitar su repetición.
- Fechas límite para la adopción de medidas preventivas.

La Dirección Facultativa podrá aprobar este informe o exigir la adopción de medidas complementarias no indicadas en el mismo.

2.5.7. Libro de incidencias

En cada centro de trabajo existirá, con fines de control y seguimiento del Plan de Seguridad y Salud, un Libro de Incidencias que constará de hojas por duplicado y que será facilitado por el Colegio profesional al que pertenezca el técnico que haya aprobado el Plan de Seguridad y Salud.

Deberá mantenerse siempre en obra y en poder del Coordinador. Tendrán acceso al Libro, la Dirección Facultativa, los contratistas y subcontratistas, los trabajadores autónomos, las personas con responsabilidades en materia de prevención de las empresas intervinientes, los representantes de los trabajadores, y los técnicos especializados de las Administraciones públicas competentes en esta materia, quienes podrán hacer anotaciones en el mismo.

2.6. Conclusiones del Estudio de Seguridad y Salud

Con todo lo descrito en los documentos que integran el presente Estudio de Seguridad y Salud, quedan definidas las medidas de prevención que inicialmente se consideran necesarias para la ejecución de las distintas unidades de obra que conforman la planta.

Si se realizase alguna modificación, o se modificara algún sistema constructivo de los aquí previstos, es obligado constatar las interacciones de ambas circunstancias en las medidas de prevención contenidas en el presente Estudio de Seguridad y Salud, debiéndose redactar, por tanto, las modificaciones necesarias.

3. Referencias

AirNow. 2019. Fundamentos del índice de la calidad del aire (AQI). [En línea] 2019. [Citado el: 12 de Enero de 2019.] https://www.airnow.gov/index.cfm?action=aqibasics.aqi_sp.

AQICN. 2019. Colegio Carteya, San Roque Air Pollution: Real-time Air Quality Index (AQI). [En línea] 2019. [Citado el: 12 de Enero de 2019.] <http://aqicn.org/city/spain/andalucia/san-roque/colegio-carteya/>.

Consejería de Medio Ambiente de San Roque. 2013. Diagnóstico Ambiental Municipal. [En línea] 2013. [Citado el: 12 de Enero de 2019.] <https://www.sanroque.es/content/plan-de-accion-agenda-21-local>.

DatosMacro. 2018. Paro por municipios: San Roque - (Cádiz). [En línea] 2018. [Citado el: 12 de Enero de 2019.] <https://datosmacro.expansion.com/paro/espana/municipios/andalucia/cadiz/san-roque>.

Instituto Nacional de Estadística . 2019. Alteraciones de los municipios en los Censos de Población desde 1842. [En línea] 2019. [Citado el: 12 de Enero de 2019.] <http://www.ine.es/intercensal/intercensal.do>.

Weather Spark. 2019. El Clima promedio en San Roque. [En línea] 3 de Enero de 2019. [Citado el: 12 de Enero de 2019.] <https://es.weatherspark.com/y/34091/Clima-promedio-en-San-Roque-España-durante-todo-el-año>.

Wikipedia. 2018. Algeciras. [En línea] 2018. [Citado el: 12 de Enero de 2019.] <https://es.wikipedia.org/wiki/Algeciras>.

DOCUMENTO II

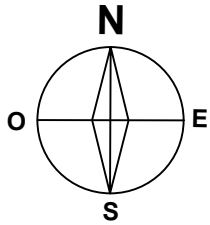
PLANOS

ÍNDICE

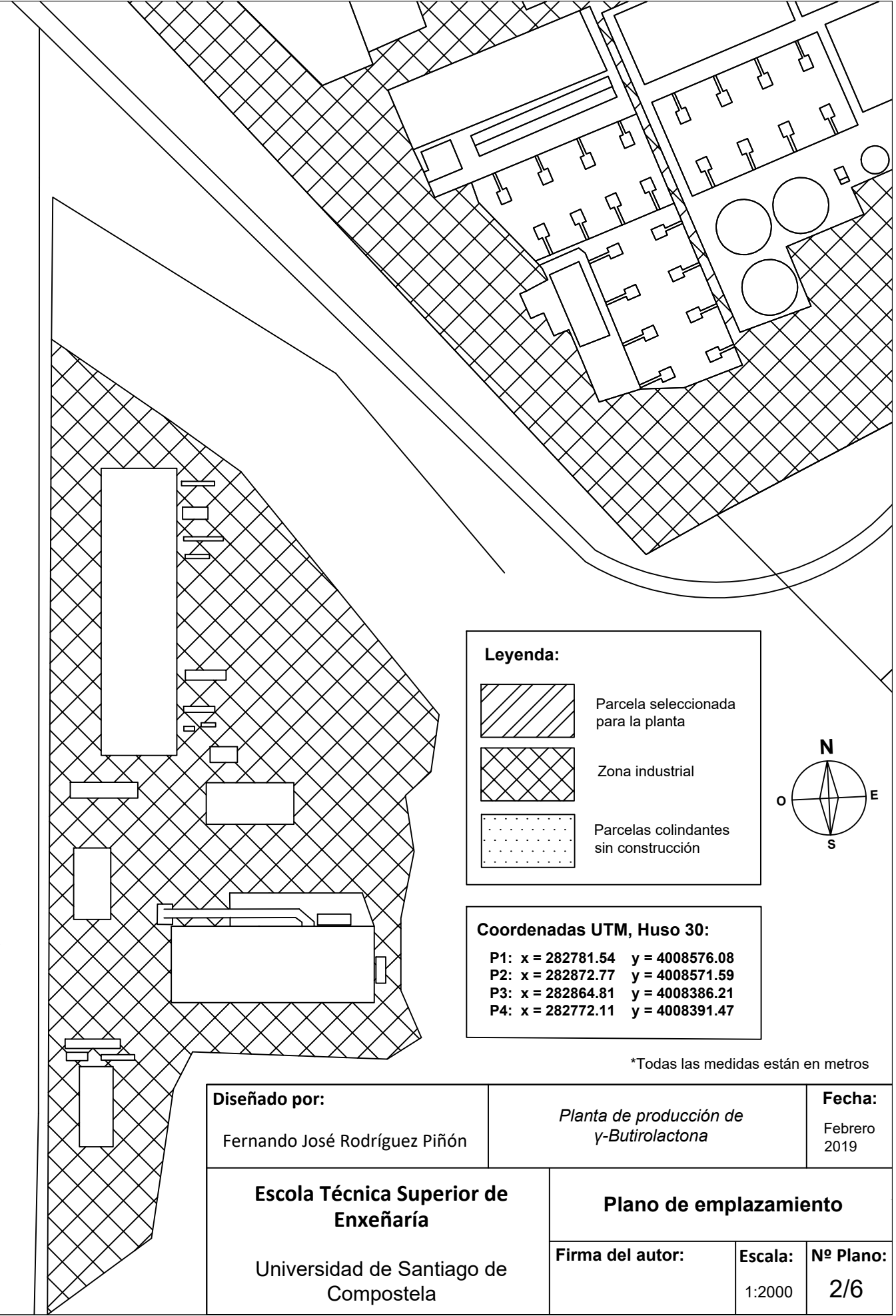
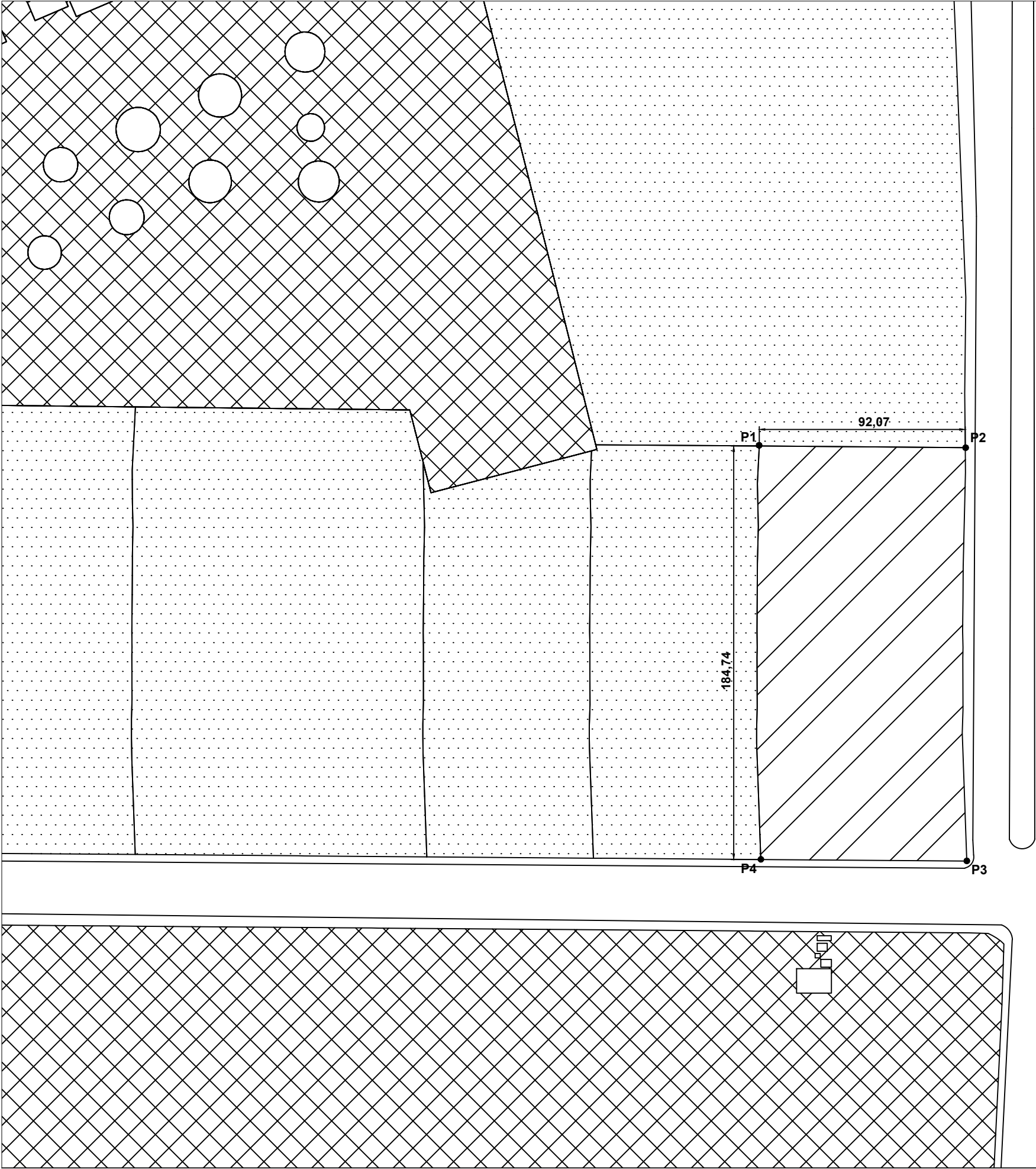
- 1. Plano de situación sobre cartografía**
- 2. Plano de emplazamiento**
- 3. Plano de implantación**
- 4. Diagrama de flujo (PFD)**
- 5. Diagrama de control e instrumentación (P&ID)**
- 6. Plano de diseño reactor R-201**

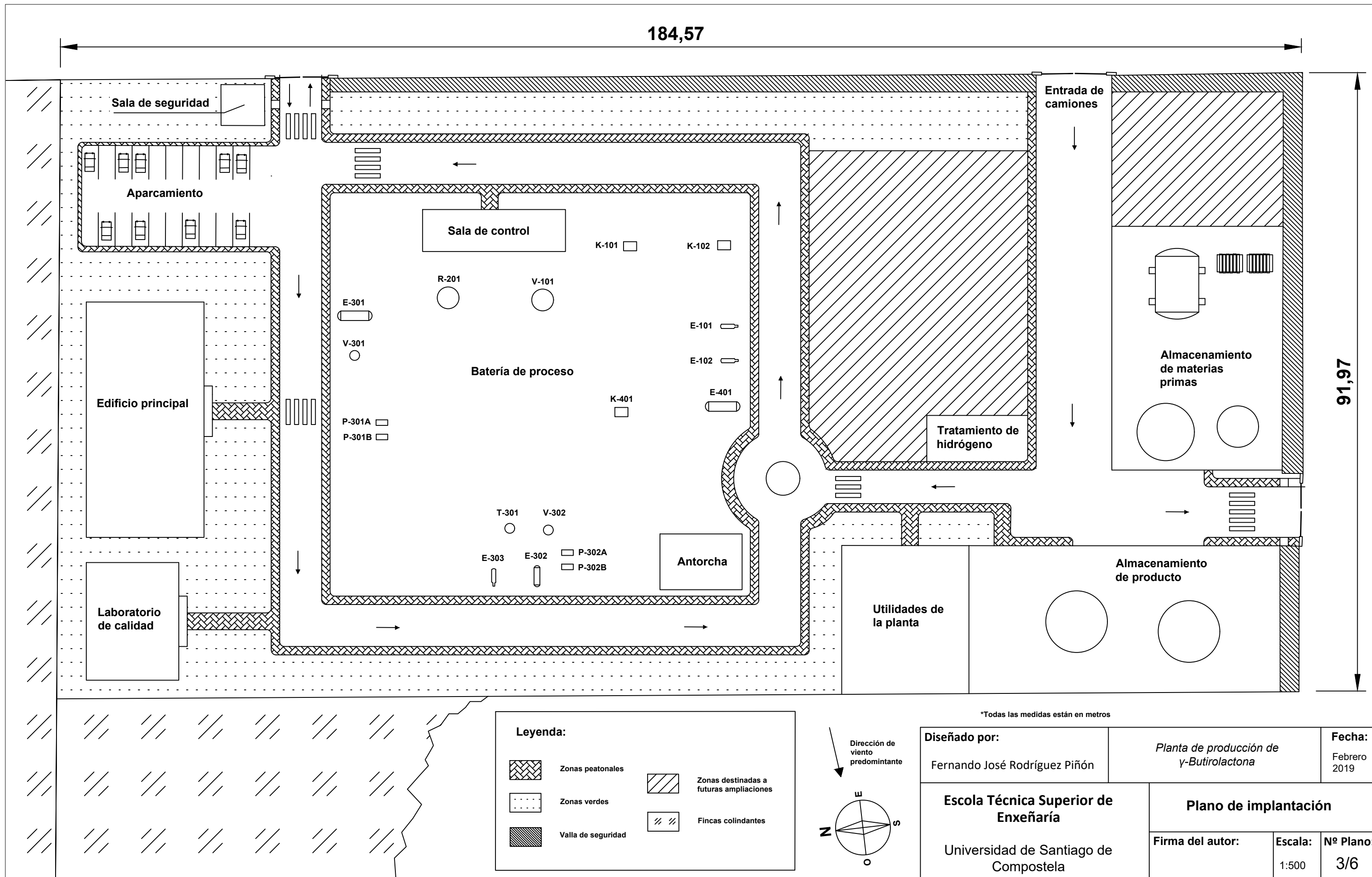


Fuente de información cartográfica:
Google Earth

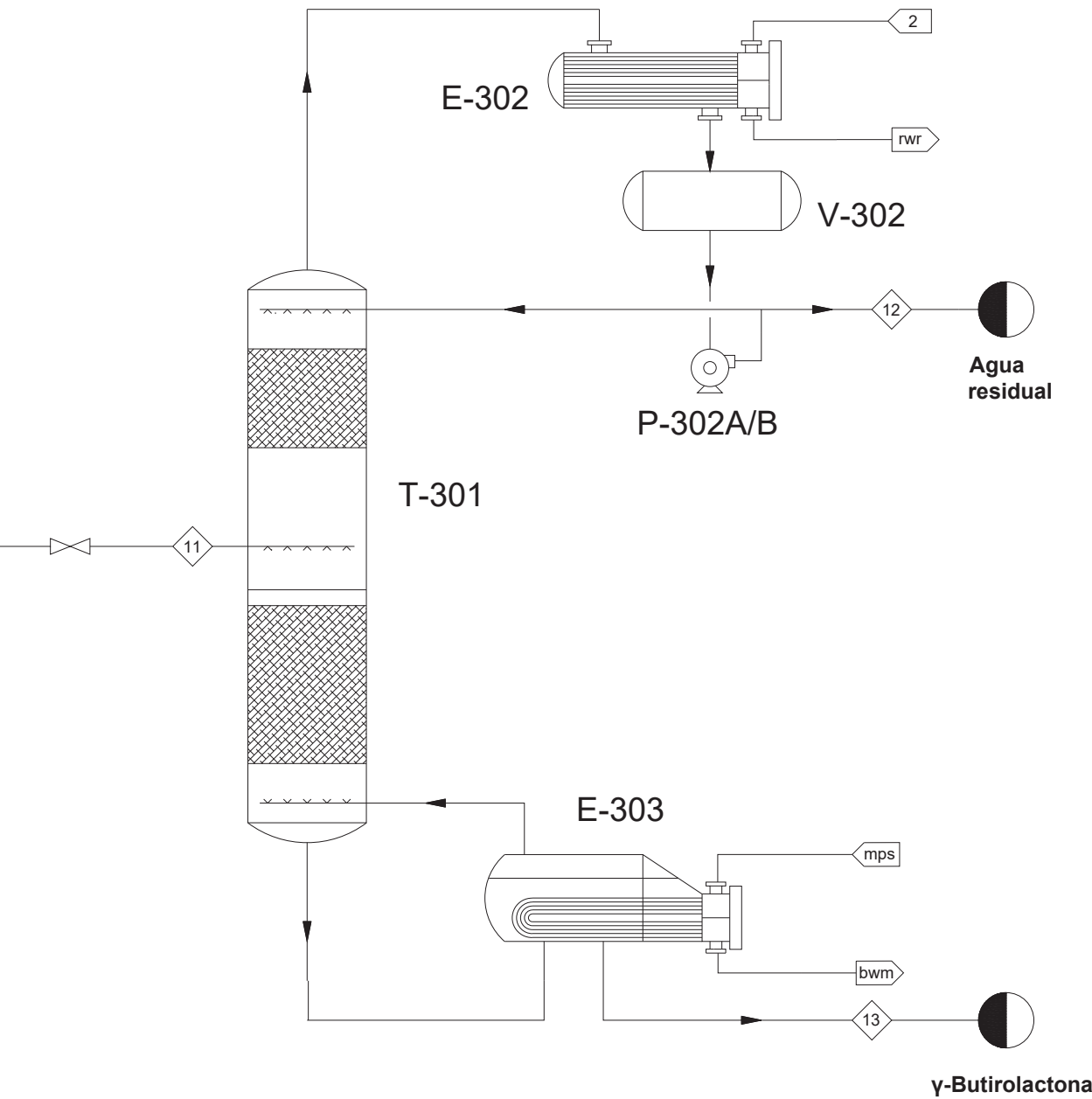
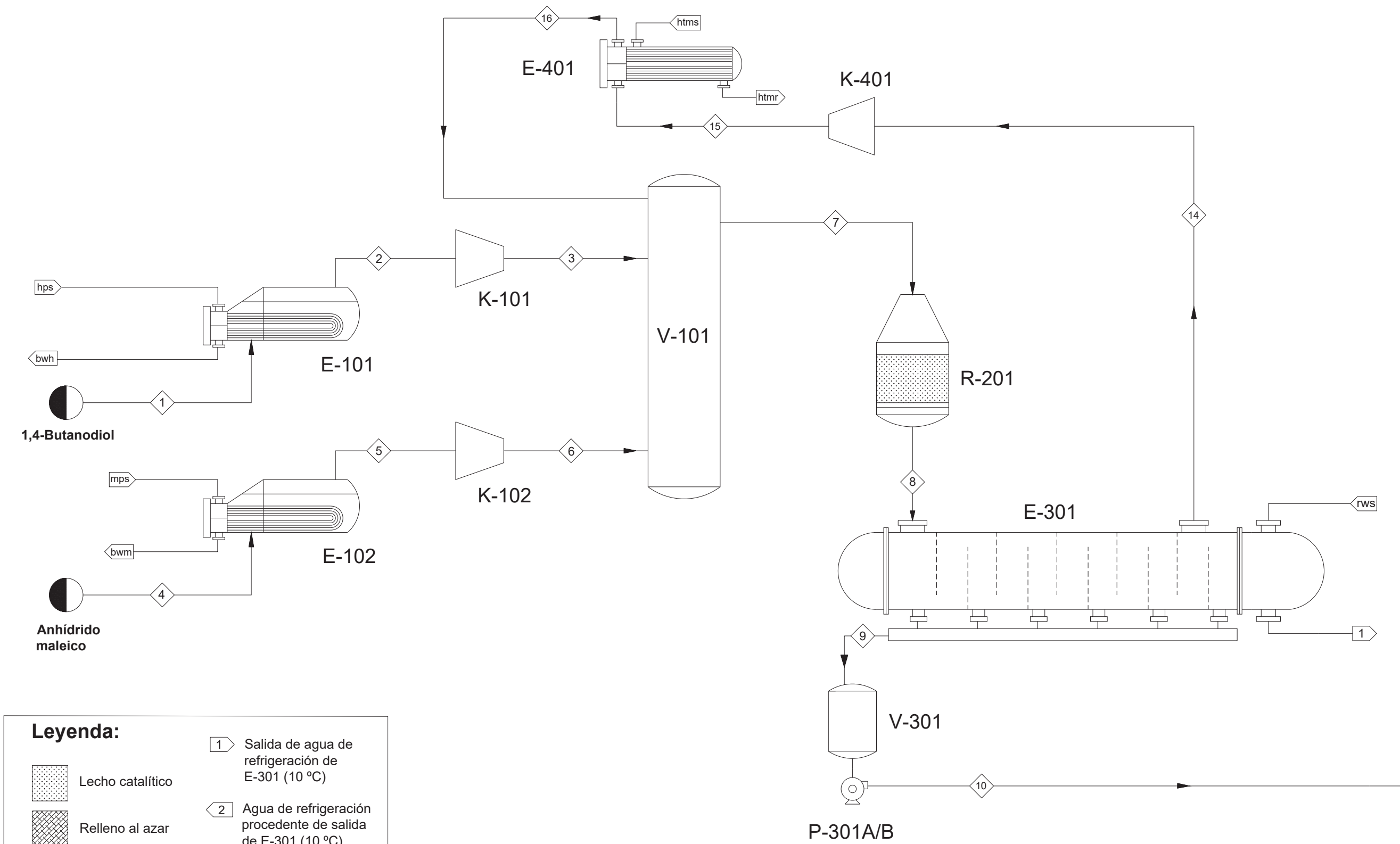


Diseñado por: Fernando José Rodríguez Piñón		Planta de producción de <i>γ-Butirolactona</i>		Fecha: Febrero 2019
Escola Técnica Superior de Enxeñaría Universidade de Santiago de Compostela		Plano de situación sobre cartografía		
		Firma del autor:	Escala: 1:50000	Nº Plano: 1/6

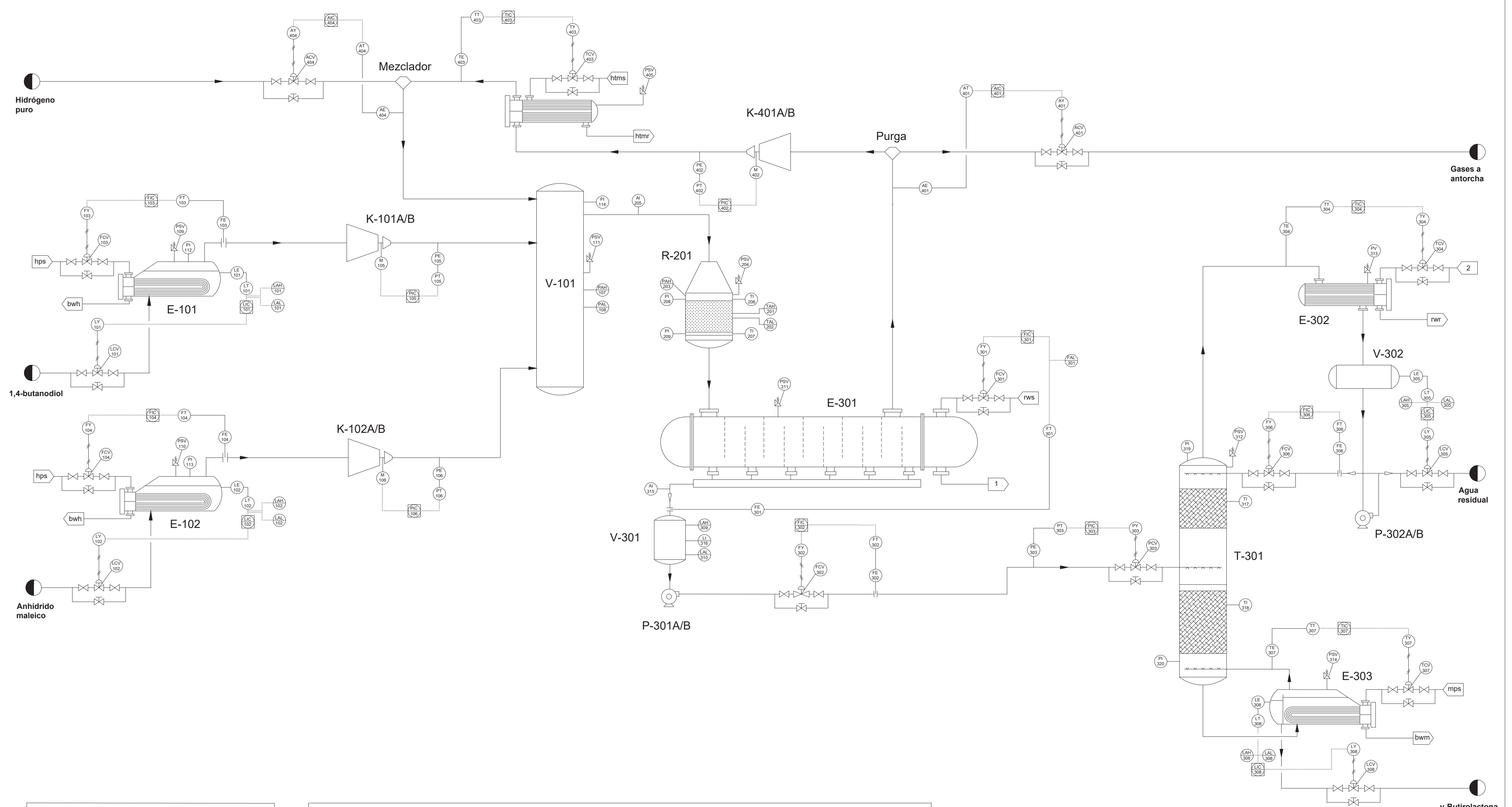




E-101	E-102	K-101A/B	K-102A/B	V-101	R-201	E-301	V-301	P-301A/B	T-301	E-302	V-302	P-302A/B	E-303	K-401	E-401
Evaporador 1,4-butanodiol	Evaporador anhídrido maleico	Compresor 1,4-butanodiol	Compresor anhídrido maleico	Tanque de mezcla	Reactor	Condensador parcial	Tanque de homogenización	Bomba impulsión tanque V-301	Columna de destilación	Condensador total cabezas T-301	Tambor de reflujo	Bomba impulsión tanque V-302	Calderín colas T-301	Compresor recirculación hidrógeno	Intercambiador recirculación hidrógeno



Diseñado por:	Planta de producción de <i>γ-Butirolactona</i>		Fecha:
Fernando José Rodríguez Píñón			Febrero 2019
Escola Técnica Superior de Enxeñaría		Diagrama de flujo (PFD)	
Universidade de Santiago de Compostela		Firma del autor:	Escala: N° Plano:
		S/E	4/6



Legenda:

Lecho catalítico

Re lleno al azar

1

Salida de agua de refrigeración de E-301 (10 °C)

2

Agua de refrigeración procedente de salida de E-301 (10 °C)

-

hps: vapor saturado de alta presión (40 barg)

-

mps: vapor saturado de media presión (26 barg)

-

bwh: agua de caldera de alta presión

-

bwm: agua de caldera de media presión

-

htms: suministro de aceite térmico (260 °C)

-

htmr: retorno de aceite térmico (245 °C)

-

rws: suministro de agua de refrigeración (5 °C)

-

rwr: retorno de agua de refrigeración (12 °C)

Simbología:

Válvula de control

Válvula de diafragma

Elemento situado en planta

Elemento situado en sala de control

Elemento situado en rack separado

Variable controlada

Función del elemento o instrumento

Identificador del lazo de control

XY Y

123

Conexión directa

Señal neumática (0,2 - 1 bar)

Señal eléctrica (4 - 20 mA)

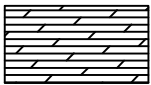
Diseñado por:		Planta de producción de γ -Butirolactona		Fecha:
Fernando José Rodríguez Piñón				Febrero 2019
Escola Técnica Superior de Enxeñaría		Diagrama de control e instrumentación (P&ID)		
		Firma del autor:	Escala:	Nº Plano:
Universidade de Santiago de Compostela			S/E	5/6

Perfil reactor
R-201

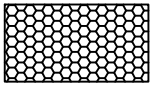
2070

12,7

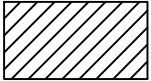
Leyenda:



Capa de aislante modelo L1



Catalizador



Plato de soporte de catalizador

*Todas las medidas están en milímetros

Detalle plano A-A

Ø3050,8

A

A

Ø3000

1250

A

A

1630

510

25,4

3000

Diseñado por: Fernando José Rodríguez Piñón		Planta de producción de <i>γ-Butirolactona</i>		Fecha: Febrero 2019
Escola Técnica Superior de Enxeñaría Universidade de Santiago de Compostela		Plano de diseño		
		Firma del autor:	Escala: 1:20	Nº Plano: 6/6

DOCUMENTO III
PLIEGO DE CONDICIONES

PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

ÍNDICE

1. Disposiciones generales	1
1.1. Objeto.....	1
1.2. Concurso.....	1
1.3. Contrato	2
1.4. Programa	3
1.5. Estudios y documentación técnica.....	4
1.6. Pliegos, Instrucciones y Normas aplicables.....	6
1.7. Seguridad y accidentes de trabajo	7
2. Calidad de los materiales	8
2.1. Materiales en general	8
2.2. Aceros.....	8
2.3. Resto de los materiales	8
3. Normas de cálculo	9
4. Disposiciones generales de las obras.....	9
4.1. Replanteo de la obra	9
4.2. Plazo de ejecución.....	10
4.3. Mano de obra.....	10
4.4. Mejoras y variaciones en el proyecto	11
4.5. Contradicciones, omisiones o errores en los documentos	12
4.6. Trabajos defectuosos o no autorizados	12
4.7. Suspensión de las obras	13
4.8. Seguros.....	14
5. Ensayos, pruebas y protecciones.....	15
5.1. Ensayos en taller	15
5.2. Presentación en taller	15
5.3. Protección contra la corrosión	15
5.3.1. Intercambiadores de calor	16
5.3.2. Tuberías.....	17
5.3.3. Columnas y depósitos a presión.....	17
5.3.4. Bombas.....	17
6. Fabricación, montaje, recepción y garantías.....	18
6.1. Inspección fabril	18
6.2. Montaje e inspección	18

6.3.	Controles	19
6.3.1.	Intercambiadores de calor	19
6.3.2.	Tuberías	20
6.3.3.	Columnas y depósitos de presión	20
6.3.4.	Bombas	20
6.3.5.	Prueba hidráulica en taller	21
6.4.	Acta de fin de montaje	21
6.5.	Ajustes, ensayos y servicio experimental	21
6.6.	Recepción provisional	21
6.7.	Período de garantía	22
6.8.	Recepción definitiva	22
7.	Almacenamiento, transporte y seguros	23
7.1.	Almacenamiento	23
7.2.	Transporte	23
7.3.	Seguros de transporte	24
7.4.	Importación de materiales y equipos	24
8.	Organización de las obras	25
8.1.	Dirección de las obras y representación del Adjudicatario	25
8.2.	Terrenos para la ejecución de las obras	26
8.3.	Instalaciones auxiliares	26
8.4.	Relación entre la Propiedad y el Adjudicatario	27
8.5.	Subcontratos de obras	29
8.6.	Personal de montaje	29
8.7.	Seguros y asistencia médica	30
9.	Abono de las obras	30
9.1.	Definición de precios	30
9.2.	Prestaciones accesorias y trabajos por admisión	31
9.3.	Trabajos no previstos	32
9.4.	Revisión de precios	33
9.5.	Condiciones de pago	34
9.6.	Penalizaciones	34
9.7.	Indemnización a favor del Adjudicatario	35
9.8.	Rescisión del contrato	35
9.9.	Legislación	37

1. Disposiciones generales

1.1. Objeto

El presente Pliego de Condiciones constituye el conjunto de normas, instrucciones, especificaciones y prescripciones que, junto con lo indicado en los documentos de Memoria, Planos y Presupuestos, definen los requisitos que a cumplir por las obras de construcción de la planta de producción de γ -butirolactona.

Los documentos adjuntos contienen, además de la descripción general de las obras, las condiciones que han de cumplir los materiales y las instrucciones para la ejecución, medición y abono de las unidades de dichas obras, siendo por tanto la norma guía que ha de seguir el Adjudicatario de la obra en todo momento.

1.2. Concurso

Constituyen objeto de concurso restringido las empresas que la Propiedad juzgue oportuno invitar, para proporcionar el suministro de equipos, materiales y servicios especificados en el presente proyecto. La Propiedad se reserva el derecho a introducir modificaciones de detalle o de exigir la prestación de servicios o suministros suplementarios que el Adjudicatario esté en disposición de realizar.

El Adjudicatario podrá proponer modificaciones de las especificaciones de suministro, debiendo hacerlo siempre que, por efecto de la utilización de patentes o por otras razones específicas, lo juzgue técnica y económicamente aconsejable.

Las especificaciones y las descripciones del suministro no son limitativas, debiendo el Adjudicatario facilitar todos los datos e información que estime indispensables para conseguir plenamente los fines del contrato. El Adjudicatario dará preferencia, en igualdad de condiciones, a materiales y servicios de origen español.

Los concursantes deberán presentar un Cuadro de Precios Unitarios, reseñando todos los que figuren en el Cuadro de Precios del Anteproyecto. Presentarán, asimismo, los presupuestos parciales y general correspondientes, una descripción de la organización de sus trabajos en la que se encuentre incluida la relación de personal técnico que tendrá a su cargo a lo largo de la realización de las obras, y una lista detallada de la maquinaria o medios a utilizar, con sus requerimientos y sus capacidades, para cumplir los plazos establecidos. Del mismo modo, indicará las fechas límite en que se debe recibir de la Propiedad la información complementaria necesaria para poder desarrollar sus trabajos de acuerdo con el plan de obra previsto.

Se considerará como documento fundamental para la adjudicación del concurso el Cuadro de Precios presentado. Los errores que pudiesen ser cometidos en los presupuestos serán corregidos por la Propiedad o su representante legal, al estudiar las ofertas a partir de los datos del citado cuadro y de las mediciones del Anteproyecto.

Los precios unitarios se considerarán actualizados hasta la fecha de presentación de la oferta que se indica en la carta de invitación. Las actualizaciones a fechas posteriores se harán de acuerdo con lo que figura en el epígrafe "Revisión de precios", correspondiente al capítulo 9.4 del presente Pliego de Condiciones.

En los precios unitarios deberá estar incluida la parte proporcional de los gastos generales, instalaciones, beneficios, etc., y todos los posibles gastos directos o indirectos relacionados con ellos.

Se hace constar además que los Planos que constituyen el Proyecto son planos de concurso que sirven única y exclusivamente para la redacción de las proposiciones de los Concursantes.

Se considerará como plazo de validez de las ofertas el período que se indica en la carta de invitación. La Propiedad pasará notificación del resultado del concurso a los diferentes Concursantes. Si el concursante no recibiese esta comunicación en el plazo señalado en la carta de invitación, puede notificar a la Propiedad su renuncia del concurso.

La Propiedad comunicará al Adjudicatario la concesión de los trabajos objeto del concurso. La fecha de comienzo de los trabajos será la indicada en el programa de trabajo.

Durante el período de tiempo comprendido entre la adjudicación y la fecha de comienzo de los trabajos, se formalizará el Contrato correspondiente entre la Propiedad y el Adjudicatario.

1.3. Contrato

El Adjudicatario estará obligado al cumplimiento de la reglamentación del trabajo correspondiente, la contratación del seguro obligatorio, subsidio familiar o de vejez, seguro de enfermedad y todas aquellas reglamentaciones de carácter social vigentes en el momento de la ejecución de las obras.

Correrán a cargo del Adjudicatario los gastos fiscales y de otro tipo a los que dé lugar la formalización del contrato.

Cualquiera de las dos partes que intervienen en el contrato puede solicitar la elevación a escritura pública del convenio de adjudicación, corriendo en este caso los gastos que origine dicha elevación por cuenta de la parte peticionaria.

El Adjudicatario es el único responsable de la totalidad del suministro y servicios que se indican en el contrato, en estricto cumplimiento de las disposiciones contractuales y de las normas técnicas de aplicación. Como consecuencia, serán responsabilidad suya las modificaciones, reparaciones y sustituciones indispensables, así como las indemnizaciones justificadas por perjuicios causados por deficiencias, errores o atrasos laborales, que impidan el exacto cumplimiento del contrato.

En caso de incumplimiento, la Propiedad podrá suspender los pagos al Adjudicatario y pedir indemnizaciones de acuerdo con lo establecido en el contrato, sin perjuicio de la aplicación de penalizaciones de rescisión.

Las relaciones con el Adjudicatario serán establecidas a través de personas o entidades designadas por la Propiedad. La Propiedad podrá hacerse representar por consultores u otras entidades que pueda elegir para colaborar en los estudios, fabricación, montaje y ensayos.

El representante del Adjudicatario será designado por éste de acuerdo con la Propiedad. Durante el período de montaje, esta persona estará presente y será responsable del equipo de montaje

El Adjudicatario estará representado en todas las reuniones convocadas con un plazo no inferior a ocho días por la Propiedad, en la obra o en cualquier otro lugar que se indique, mediante la presencia de técnicos especializados en las materias objetivo de dichas reuniones.

La lista de proveedores principales y empresas colaboradoras de Adjudicatario, establecida de común acuerdo con la Propiedad, en la obra o en cualquier otro lugar que se indique, mediante la presencia de técnicos especializados en las materias objetivo de dichas reuniones.

La aprobación por parte de la Propiedad de la lista de proveedores y empresas colaboradoras del Adjudicatario no eximirá en ningún caso a este último de su responsabilidad.

El Adjudicatario no podrá ceder ni traspasar a terceros ninguna de sus obligaciones o derechos, ni utilizar en la ejecución de los trabajos otras empresas o sociedades que las que figuran en el contrato como aceptadas por la Propiedad. En todos los casos, el Adjudicatario es plenamente responsable del contrato ante la Propiedad, personal obrero y terceros.

Si el Adjudicatario, sin previa autorización escrita por parte de la Propiedad, cediese o traspasase a terceros cualquiera de sus obligaciones o derechos, derivados del contrato, o emplease en la ejecución de las obras otra empresa o sociedad que no estuviese previamente aceptada por la Propiedad, ésta aplicará las sanciones que crea oportunas, llegando, si fuera necesario, a la rescisión del contrato, en cuyo supuesto se aplicaría todo lo incluido bajo el epígrafe “Rescisión del contrato” del Pliego de Condiciones.

La Propiedad puede indicar en la carta de invitación al concurso la fianza inicial y retenciones de garantía que se descontarán de las certificaciones. Estas cantidades retenidas por la Propiedad resultan en caso de rescisión o abandono del trabajo por causas imputables al Adjudicatario.

El Adjudicatario responde, además del cumplimiento de sus obligaciones, de todos los medios auxiliares, maquinaria y materiales que tenga depositados en la obra, los cuales no podrán ser retirados de la misma sin previa autorización escrita de la Propiedad.

El Adjudicatario es el único responsable de la correcta ejecución técnica de las obras, no teniendo derecho a la indemnización alguna por el mayor precio a que pudiesen resultar, ni por las falsas operaciones que cometa durante la construcción de las mismas, ni por las modificaciones que la Dirección Facultativa tenga a bien marcar, corriendo dichas operaciones por su cuenta y riesgo, independientemente de las inspecciones ejercidas por la Dirección técnica.

1.4. Programa

El programa general de los trabajos (estudios, aprovisionamiento, fabricación, transporte, montaje y ensayos) a presentar con la propuesta deberá respetar las pautas indicadas en estas normas e información complementaria facilitada.

El programa deberá ser desarrollado, según las condiciones especificadas en estas normas, en otro detalle, en el que se indicarán las fechas de conclusión de cada uno de los trabajos señalados en el trabajo inicial, así como las fechas intermedias cuyo incumplimiento dé lugar a la aplicación de las penalizaciones. El plazo de presentación de este programa detallado será de treinta días a partir de la fecha de adjudicación.

El programa referido en el párrafo anterior deberá indicar las fechas límite en que se consideren indispensables los suministros para asegurar la continuidad de los trabajos, así como los datos referentes a la posibilidad del inicio de los trabajos de terceros.

La determinación del orden de las obras será facultad potestativa del Adjudicatario, salvo en aquellos casos en los que, por cualquier circunstancia de orden técnico, el Ingeniero Director estime conveniente su modificación.

Todos los trabajos se ejecutarán en estricto seguimiento del Proyecto que ha servido de base, de las modificaciones que sobre el mismo hayan sido aprobadas y a las órdenes e instrucciones que entregue el Ingeniero Director al Adjudicatario, siempre que se encaje dentro de la cifra a la que ascienden los presupuestos aprobados.

El programa contractual de los trabajos no podrá ser alterado sin la conformidad expresa de la Propiedad. Además, cuando la Propiedad proponga una alteración de dicho programa, el Adjudicatario se compromete a hacer todo lo posible para dar cumplimiento al deseo de la Propiedad, lo mismo se trate de adelantar como de retrasar un suministro.

El Adjudicatario dará comienzo a las obras en el plazo marcado, desarrollándolas en la forma necesaria para que la ejecución total se lleve a cabo dentro del plazo exigido en el contrato realizado con la Propiedad.

Obligatoriamente, y por escrito, el Adjudicatario deberá dar cuenta al Ingeniero Director del comienzo de los trabajos de obra antes de veinticuatro horas desde su iniciación.

Si los trabajos se desarrollan con retraso respecto al programa aprobado, serán aplicadas las penalizaciones correspondientes. Si dicha demora fuese producida por motivos no imputables al Adjudicatario, éste puede solicitar de la Propiedad una prórroga del plazo de ejecución de las obras, postergación que será igual al tiempo perdido, a no ser que el Adjudicatario solicitase que fuese menor. La petición de prórroga por parte del Adjudicatario deberá tener lugar en plazo mínimo de un mes desde el día que se produzca la causa originaria del retraso, alegando las razones por las que se estime no serle imputable la demora, y señalando el tiempo probable de su duración. En caso de que el Adjudicatario no solicitase el aplazamiento, se entenderá que renuncia a su derecho y que, a efectos de la aplicación del contrato, los retrasos que se produzcan en relación con lo establecido en el programa le son imputables a él.

El Adjudicatario se someterá a las Leyes, Reglamentos y Ordenanzas vigentes, así como los que se dicten durante la ejecución de las obras,

El Adjudicatario queda obligado al cumplimiento de la legislación vigente en lo relativo a los accidentes de trabajo desde que toma a su cargo la organización de los trabajos contratados.

1.5. Estudios y documentación técnica

Por el hecho de acusar recibo de encargo, el Adjudicatario reconoce haber recibido de la Propiedad todos los datos y documentos de base necesarios para los estudios y proyectos. En caso de errores u omisiones, el Adjudicatario deberá proponer las modificaciones que estime convenientes para una buena ejecución del mismo.

El Adjudicatario debe pedir a la Propiedad, con antelación suficiente, todas las informaciones complementarias y de detalle indispensables para la buena ejecución del suministro.

Los documentos contractuales y todos aquellos que la propiedad entregue durante la ejecución del contrato, deben ser cuidadosamente revisados por el Adjudicatario. En caso de errores u omisiones, el Adjudicatario deberá proponer las modificaciones que estime convenientes para la buena organización del suministro.

El Adjudicatario proporcionará, en la fecha establecida en el calendario general de ejecución de obras, con los datos y condiciones indicados en las normas y demás documentos que le encargue la Propiedad, como son la Memoria, Cálculos justificativos, Características de los materiales, Especificaciones relativas a los mismos, Planos y demás documentación técnica complementaria a la incluida en la oferta presentada, de forma que se compromete a así la definición del equipo y servicios contratados, permitiendo a la Propiedad:

- Tener pleno conocimiento del estado tensional al que estará sometido el equipo en las distintas hipótesis de cálculo, garantías que ofrecen los materiales, las soldaduras y demás elementos incluidos en el suministro, así como de su funcionamiento, conservación y explotación.
- Efectuar la inspección de su fabricación y montaje.
- Estudiar y proyectar todos los trabajos afines que no incumben al Adjudicatario.

Todos los documentos facilitados por el Adjudicatario, así como leyendas y acotaciones, deberán estar escritos en español. La Propiedad podría aceptar documentos escritos en francés o inglés, reservándose el derecho a exigir traducciones al español, que serán consideradas como los únicos documentos válidos.

La Propiedad comunicará al Adjudicatario, en el plazo que señala el programa general de trabajos, la aprobación o reparos a los documentos ya referidos en párrafos anteriores, que conforman la total definición del equipo y servicios contratados, entendiéndose que éstos están aceptados si en dicho plazo no se hubiese indicado lo contrario.

Los documentados sobre los que la Propiedad sí hubiese efectuado observaciones antes de la fecha concertada, serán revisados por el Adjudicatario y nuevamente sometidos a aprobación dentro del plazo establecido en el calendario general de las obras. Si la Propiedad no pudiese admitirlos, convocaría una reunión para su discusión y resolución en el plazo de ocho días.

El Adjudicatario remitirá a la Propiedad, por quintuplicado y en el plazo de quince días desde su aprobación, los ejemplares indicados en estas normas y en cada uno de los documentos aceptados.

Los documentos aprobados no podrán ser modificados sin previa autorización escrita de la Propiedad.

La aprobación por parte de la Propiedad de los dibujos, notas de cálculo u otros documentos no limita la responsabilidad del Adjudicatario, sino que ésta se mantendrá total.

Todos los documentos y planos recibidos por la Propiedad como parte del suministro serán tratados por ésta a todos los efectos como de su propiedad. De igual modo, toda la

documentación y dibujos serán enviados por la Propiedad al Adjudicatario para la ejecución del suministro, no pudiendo este último comunicar a terceros o publicar sus reproducciones sin previa autorización de la Propiedad.

El Adjudicatario entregará al menos tres copias de los manuales de instrucciones de los equipos suministrados, cuyo contenido mínimo debe ser el siguiente:

- Descripción del equipo.
- Características nominales de diseño y prueba.
- Composición y características de los materiales.
- Principios de operación.
- Instrucciones de operación.
- Gradientes máximos, limitaciones y funcionamiento en condiciones distintas de las nominales. Puntos de tarado.
- Lista de componentes o despieces, con números de identificación, dibujos de referencia, nombres y características de la pieza (dimensiones, materiales, etc.)
- Instrucciones de recepción, almacenamiento, manejo y desembalaje del equipo.
- Instrucciones de montaje y tolerancias.
- Instrucciones de mantenimiento.
- Pruebas y controles periódicos.
- Lista de repuestos.

1.6. Pliegos, Instrucciones y Normas aplicables

Las prescripciones de las instrucciones y normas que se muestran a continuación serán de aplicación con carácter general, y en todo aquello que no contradiga o modifique el alcance de las indicaciones que se incluyen en el presente Pliego de Condiciones, para los materiales y la ejecución de las obras.

- Artículos 1588 a 1600 del Código Civil, en los casos en los que sea procedente su aplicación.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (R.D: 842/2002).
- Reglamento de equipos a presión e Instrucciones técnicas complementarias. (R.D. 2060/2008).

- Instrucción de hormigón estructural (R.D. 1247/2008).
- Código Técnico de edificación (R.D. 314/2006).
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para tuberías de abastecimiento de agua (O.M. 22/08/63).
- Norma de construcción Sismorresistente (R.D. 997/2002).
- Reglamento de almacenamiento de Productos Químicos MIE APQ-6: almacenamiento de líquidos corrosivos.
- Cuantos preceptos sobre Seguridad e higiene en el Trabajo contengan las Ordenanzas Laborales, Reglamentos de Trabajo, Convenios Colectivos y Reglamentos de Régimen Interior en vigor.

1.7. Seguridad y accidentes de trabajo

El Adjudicatario queda obligado al cumplimiento de la normativa referente al estudio de Seguridad e Higiene en el Trabajo vigente.

Todos cuantos aparatos, maquinaria, herramientas y medios auxiliares emplee el Adjudicatario en la ejecución de los trabajos deberán reunir las máximas condiciones de seguridad y resistencia, así como cumplir todas las normas oficiales dictadas al efecto.

El personal de Adjudicatario está obligado a utilizar todos los dispositivos y medios de protección personales necesarios para eliminar o reducir los riesgos profesionales, pudiendo el Ingeniero suspender los trabajos si estima que el personal está expuesto a peligros no corregibles.

El Ingeniero Director podrá exigir al Adjudicatario, ordenándolo por escrito, el cese de la obra de cualquier trabajador que, por imprudencia temeraria, pudiese provocar accidentes que hiciesen peligrar su propia integridad física o la de alguno de los demás empleados u obreros.

Toda la responsabilidad en los accidentes que pudieran ocurrir por el empleo de materiales defectuosos, por imprudencias o por el incumplimiento de lo anteriormente mencionado, recaerá exclusivamente sobre el Adjudicatario. Correrán también por cuenta exclusiva de éste las multas en las que incurra por contravenir las disposiciones oficiales, así como los daños y desperfectos ocasionados a terceros en su persona, bienes o haciendas.

El Adjudicatario queda en libertad de ejecutar los andamiajes que estime convenientes, siempre dentro de las normas de seguridad para el personal que señale en cada momento las Leyes o Reglamentos de Seguridad e Higiene o Accidentes de Trabajo.

El Ingeniero Director podrá exigir al Adjudicatario en cualquier momento, antes o después del comienzo de los trabajos, que presente los documentos que acrediten el haber formalizado los regímenes de la Seguridad Social en la forma legalmente establecida.

2. Calidad de los materiales

2.1. Materiales en general

Todos los materiales suministrados por el Adjudicatario, figuren o no en los documentos del presente Proyecto, deben reunir las condiciones de calidad exigibles en la buena práctica de la construcción. La aceptación por la Propiedad de una marca, fábrica o lugar de extracción, no exime al Adjudicatario del cumplimiento de estas prescripciones.

Deben presentarse previamente muestras para su aprobación y reconocimiento por parte del Ingeniero Director o en su defecto por el Subdirector de la Obra, sin cuyo permiso no se podrá proceder a la colocación o empleo, pudiéndose obligar a la retirada del material no aprobado y colocado en obra por parte del Adjudicatario de no haberse procedido de la forma establecida. Además, los materiales rechazados deberán ser inmediatamente retirados de la obra por cuenta y riesgo del Adjudicatario, o depositados en los lugares indicados por la Dirección de la Obra.

Cuando los materiales no fuesen de la calidad requerida en el Pliego de Condiciones o no tuviesen la preparación en éste exigida, o cuando a falta de prescripciones formales se reconociese o demostrase que no son adecuados para su función, la Propiedad dará orden al Adjudicatario para que a su costo los reemplace por otros que satisfagan o cumplan el objetivo al que se destinan.

El Adjudicatario, a su costo, transportará y colocará los materiales no utilizables, agrupándolos ordenadamente y en el lugar de la obra que se designe, para evitar así que supongan un perjuicio en la marcha de los trabajos. Los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc., que no sean utilizables en la obra se retirarán de ésta o se llevarán a un vertedero.

Si, a pesar de todo, fueran advertidas faltas en un material aprobado y colocado, dicho material podría ser retirado a cuenta del Adjudicatario.

2.2. Aceros

El Adjudicatario indicará las características mecánicas de los aceros empleados con arreglo a los siguientes elementos:

- Piezas de acero moldeado.
- Estructuras de acero.

2.3. Resto de los materiales

Para el resto de materiales empleados en la fabricación del suministro, se indicarán las características mecánicas, así como la composición química.

3. Normas de cálculo

Serán de aplicación las normas DIN u otras de rango similar vigentes sobre las bases de cálculo para construcciones hidráulicas de acero.

El Adjudicatario indicará las tensiones de trabajo, simples y compuestas a las que quedan sometidos los diferentes materiales que constituyen las estructuras. Asimismo, se señalarán las tensiones máximas de trabajo o tensiones base para el cálculo:

- Tensión admisible de tracción o compresión, previa comprobación del pandeo.
- Tensiones admisibles a esfuerzos cortantes.
- Tensiones de comparación.

La tensión base o máxima de trabajo es un límite absoluto que no podrá ser sobrepasado ni siquiera en el caso de piezas sometidas a choques, esfuerzos dinámicos, fatigas locales o alternadas, vibración y oxidaciones.

Se indicarán, a su vez, las cargas máximas transmitidas al hormigón por las piezas fijas, así como las correspondientes a los órganos de maniobra.

Los esfuerzos de compresión en el hormigón se atenderán a los especificado en las normas DIN, y no superarán, en cualquier caso, la carga de rotura indicada en la norma EH vigente.

Las conducciones blindadas y los revestimientos se dimensionarán para los estados de carga más desfavorables, sin tener en cuenta la contribución del hormigón que las engloba.

El Adjudicatario facilitará los cálculos completos de los elementos importantes del suministro.

El Adjudicatario indicará los coeficientes de seguridad de elementos tales como cilindros y vástagos de servomotores, cadenas, cables, etc.

4. Disposiciones generales de las obras

4.1. Replanteo de la obra

El Ingeniero Director, una vez que el Adjudicatario esté en posesión del Proyecto y antes de comenzar las obras, deberá realizar el replanteo de las mismas, con especial atención en los puntos singulares. Se levantará, por duplicado, un Acta de Replanteo firmada por el Ingeniero Director y el representante del Adjudicatario.

Todas las operaciones que se necesiten para el replanteo serán efectuadas por y a cuenta del Adjudicatario, no teniendo por este concepto derecho a reclamación de ninguna clase. Asimismo, está obligado a suministrar, a cargo de la Propiedad, los medios y aparatos que la dirección de Obra estime necesarios para llevar a cabo los replanteos de cualquier tipo.

4.2. Plazo de ejecución

Los plazos de ejecución, tanto totales como parciales, señalados en el contrato, empezarán a contar a partir de la fecha de replanteo de las obras o desde la notificación por parte de la propiedad de la autorización para el comienzo de éstas. El Adjudicatario estará obligado a cumplir dichos plazos, que serán improrrogables.

No obstante, los plazos podrán ser objeto de aplazamiento, cuando las modificaciones solicitadas por el Ingeniero Director y debidamente aprobadas por la Propiedad, influyan realmente en los plazos señalados en el contrato.

Si por causas ajenas por completo al Adjudicatario no fuese posible comenzar los trabajos en la fecha prevista o tuviesen que ser suspendidos una vez iniciados, el Ingeniero Director concederá una prórroga cuya duración será la estrictamente necesaria.

4.3. Mano de obra

El personal que, como encargado, capataz, oficial, ayudante o peón, tenga el Adjudicatario realizando unidades de obra, debe ser cualificado y responsable, al igual que todo el personal dependiente de los Subadjudicatarios, que en todo momento acatarán las órdenes dictadas por la Dirección de la obra.

El Adjudicatario está obligado a tener siempre en la obra el número de operarios proporcionado a la extensión y clase de trabajos que se esté ejecutando.

Los operarios serán de aptitud reconocida y experimentados en sus respectivos oficios, y constantemente ha de haber en la obra una persona responsable y encargada del conjunto.

No se permitirá trabajar a ningún obrero que no se encuentre debidamente capacitado o en quien se note una falta de costumbre a la hora de trabajar sobre andamios, y, si por omisión o falta de observación de las precauciones, ocurriese una desgracia, serán a cuenta y riesgo del Adjudicatario las responsabilidades que tuviesen lugar.

La Dirección de la Obra podrá prohibir la permanencia en obra de determinado personal del Adjudicatario, por motivo de faltas de obediencia y/o respeto, o a causa de actos que puedan comprometer o perturbar, a juicio de la misma, la marcha de los trabajos. El Adjudicatario podrá recurrir si entendiéndose que no hay motivos fundados para dicha prohibición.

La totalidad del personal empleado por Adjudicatario y Subadjudicatario en la ejecución de las obras deberá estar debidamente afiliado al régimen general de la Seguridad Social, estando obligado a mantener en la oficina de obra los justificantes correspondientes, que justifiquen la situación. Además, el Adjudicatario está obligado al cumplimiento de lo establecido en la Ley sobre Contrato de trabajo y en las Reglamentaciones de trabajo vigentes o que se dicten durante la realización de las obras.

El Adjudicatario habilitará, en la obra, una oficina en la que tendrá siempre una copia de todos los documentos del Proyecto que le hayan sido facilitados por el Ingeniero Director, así como los restantes documentos, equipo y materiales que se estipulen.

El Adjudicatario podrá sacar a sus expensas copias de los documentos del Proyecto de Contrata, cuyos originales le serán facilitados por el Ingeniero Director, el cuál autorizará con su firma las copias, si el Adjudicatario así lo deseara.

El Adjudicatario, por sí mismo o por medio de sus facultativos, representantes o encargados, estará en la obra durante la jornada legal de trabajo y acompañará al Ingeniero Director, o a las personas que éste delegue, en las visitas que haga a la obra, poniéndose a su disposición para la práctica de los reconocimientos que se consideren necesarios, y facilitándole los datos necesarios y los medios para la ejecución y aprobación de mediciones, comprobaciones y liquidaciones.

El Adjudicatario o su delegado vigilarán los trabajos de colocación de los andamios, cimbras y demás medios auxiliares. Comprobará que los materiales fabricados, tales como viguetas, cargaderos, etc., del material que sea, llevan garantía de fabricación, siendo el Adjudicatario el responsable de los accidentes que ocurran por incumplimiento de esta disposición o por no tomar las debidas precauciones.

Antes del inicio de las obras se procederá al replanteo general de las mismas, juntamente con el Director y Subdirector de Obra, realizándose la correspondiente Acta de Replanteo, que quedará plasmada en el Libro de Órdenes, considerándose dicha fecha como la de inicio de las obras.

Todas las operaciones y medios auxiliares necesarios para el replanteo, serán de exclusiva cuenta del Adjudicatario, pudiendo ser vigilados y anulados por la Dirección Técnica.

El Adjudicatario no podrá reclamar ni percibir indemnización alguna por sustracción, pérdida, avería y otros perjuicios acaecidos durante la realización de la obra.

Del mismo modo, será responsable de las pérdidas del material que se entregase a su custodia, descontándosele el importe de las cantidades a percibir. Igualmente, responderá ante cualquier daño causado en las propiedades colindantes, estando obligado a repararlas y dejarlas en su estado original.

4.4. Mejoras y variaciones en el proyecto

Si durante el transcurso de las obras, el Ingeniero Director estimase conveniente introducir modificaciones en el Proyecto, el Adjudicatario estará obligado a ejecutarlas, siempre y cuando la cantidad de las obras nuevamente aprobada no aumentase ni disminuyese. No se considerarán mejoras y variaciones del Proyecto más que aquellas que hayan sido ordenadas expresamente por escrito por el Ingeniero Director.

Si antes del inicio de las obras o en el transcurso de éstas, la Propiedad, de acuerdo con el Ingeniero Director, resolviese realizar parte de las obras que comprende la contrata, o acordase introducir en el Proyecto modificaciones que supongan aumento, reducción o supresión de las cantidades especificadas en el presupuesto, serán obligatorias para el Adjudicatario estas disposiciones sin que tenga incluso derecho, en caso de suspensión de los trabajos, a indemnización alguna con el pretexto de pretendidos beneficios que hubiera podido obtener en la parte reducida o suprimida. Aun cuando las reformas hiciesen variar el trazado original, si se le participa al Adjudicatario con la debida antelación, tampoco podrá reclamar compensación económica alguna.

En el caso en el que se diera alguna modificación en el Proyecto, el Adjudicatario tendrá pleno derecho a que se prorrogue, tanto tiempo como el Ingeniero considere oportuno, el plazo para la terminación de las obras.

Cuando se introduzcan modificaciones o mejoras en la obra, debidamente autorizadas, se hará constar por escrito, antes de comenzar los trabajos, el importe de aquellos o el valor estipulado para las mismas si no tuviesen precio en el presupuesto, cuyo valor se abonará en la liquidación correspondiente al plazo en que el trabajo se haya ejecutado.

4.5. Contradicciones, omisiones o errores en los documentos

En caso de contradicción entre los Planos y el Pliego de Condiciones, prevalecerá lo escrito en este último. Lo mencionado en el Pliego de Condiciones y omitido en los Planos, o viceversa, habrá de ser aceptado como si se incluyese en ambos documentos, siempre que, a juicio del Ingeniero Director, quede suficientemente definida la unidad de obra correspondiente y ésta tenga precio en el contrato.

Los diversos capítulos del presente Pliego de Condiciones son complementarios entre sí, entendiéndose que las prescripciones que contengan uno de ellos y afecte a otros, obligan como si apareciesen a todos. Las contradicciones o dudas entre sus especificaciones se resolverán por la interpretación razonada que considere el Ingeniero Director.

En todo caso, las contradicciones, omisiones o errores que se adviertan en estos documentos, tanto por el Ingeniero Director como por el Adjudicatario, deberán reflejarse preceptivamente en el Acta de Replanteo.

4.6. Trabajos defectuosos o no autorizados

El Adjudicatario deberá utilizar materiales que cumplan las condiciones exigidas en el Pliego de Condiciones Particulares y realizar todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con dicho documento.

Como consecuencia de lo anterior, cuando el Ingeniero Director o su representante en la obra advierta vicios o defectos en los trabajos efectuados, o que los materiales empleados o los aparatos colocados no reúnan las condiciones preceptuadas, ya sea durante la ejecución de los trabajos o una vez finalizados éstos y con anterioridad a la verificación de la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas conforme al contrato, y todo aquello a expensas del Adjudicatario. Si éste no considerase justa la decisión y se negase a la demolición y reconstrucción ordenada, se procederá según estos pasos:

- Cuando los materiales o aparatos no reuniesen la calidad requerida o no estuviesen perfectamente preparados, el Ingeniero Director dará orden al Adjudicatario para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas por los Pliegos, o a falta de éstos, a las órdenes del Ingeniero Director.
- El Ingeniero Director podrá, si las circunstancias o el estado de la obra lo aconsejen, permitir el empleo de aquellos materiales de mayor calidad a la fijada de antemano en caso de que al Adjudicatario no le fuese posible suministrarlos de dicha calidad,

descontándosele en ese caso la diferencia de precio del material requerido al defectuoso empleado, y no teniendo derecho el Adjudicatario a indemnización alguna en el segundo de los casos.

El Adjudicatario es el único responsable de la ejecución de los trabajos para los que ha sido contratado y de las faltas y defectos que éstos pudiesen tener por su incorrecta ejecución y por la deficiencia de la calidad de los materiales o aparatos empleados, sin que pueda servir de excusa ni se le otorgue derecho alguno el que el Ingeniero Director o sus subalternos no le hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valoradas en las certificaciones y participaciones de las obras.

4.7. Suspensión de las obras

Cuando la Propiedad desee suspender la ejecución de las obras, deberá avisar al Adjudicatario con un mes de antelación, teniendo este último que suspender los trabajos sin derecho a indemnizaciones, siempre que se le abone el importe de la obra ejecutada y el valor de los materiales acumulados a pie de obra. Se hará lo mismo en caso de rescisión justificada.

Si la suspensión de las obras fuese motivada por el Adjudicatario, la Propiedad se reserva el derecho a la rescisión del contrato, abonando al Adjudicatario sólo la obra ejecutada, con pérdidas de la garantía como compensación a la Propiedad por los perjuicios generados, quedando siempre el Adjudicatario obligado a responder por los perjuicios superiores creados por ésta.

En caso de muerte o quiebra del Adjudicatario, quedará rescindida la contrata, a no ser que los herederos o síndicos de la quiebra ofrezcan realizarla bajo las condiciones estipuladas en un primer momento. La Propiedad podrá aceptar o rechazar el ofrecimiento, sin que, en este último caso, aquellos tengan derecho a indemnización alguna.

Tanto en los casos de rescisión como en los que legalmente se pudiesen presentar, las herramientas y demás elementos de trabajo que sean de pertenencia del Adjudicatario, tendrá este la obligación de recogerlos antes de un plazo de ocho días, entendiéndose que los abandona a favor de la obra de realizarse en un período superior a lo estipulado.

Son causas de rescisión de obra, las siguientes:

- El no ejecutar las obras con arreglo al Proyecto o modificaciones indicadas.
- El empleo deficiente de los materiales o su mala colocación en la obra que obliguen a demoler ésta o a valorarla como defectuosa.
- El que los trabajos no se realicen ajustándose al calendario previsto.
- Incapacidad del personal contratado, tanto técnico como de la obra.
- Quiebra o suspensión de pagos por parte del Adjudicatario.
- La suspensión de la obra comenzada, siempre que el pago exceda los seis meses.

- El no dar comienzo la contrata a los trabajos dentro del plazo señalado en las condiciones del Proyecto o contrato.
- El incumplimiento de las condiciones del contrato, cuando se indique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras.
- La terminación del plazo de ejecución de los trabajos sin haberse llegado a concluirlos.
- El abandono de la obra sin causa justificada.
- La muerte o incapacidad del Adjudicatario.
- Alteraciones del contrato, de forma que suponga modificaciones del Proyecto o de las unidades de obra en un 25% como mínimo del importe de aquel y en un 50% de las unidades modificadas.
- La suspensión de la obra comenzada y en todo caso siempre que por causas ajenas a la contrata no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación.
- Por toda causa de fuerza mayor que obligue a suspender las obras indefinidamente.

Excepto en los últimos cuatro casos, la fianza quedará en beneficio de la Propiedad. En todos los casos, la Propiedad se reserva el derecho a continuar las obras, bien por sí misma, bien por las personas o entidades que considere convenientes.

4.8. Seguros

El Adjudicatario quedará obligado, después de la comprobación del replanteo y antes del comienzo de la obra, a facilitar a la Dirección la documentación que acredite haber suscrito, además de las correspondientes afiliaciones a la Seguridad Social, de las siguientes pólizas de seguro:

- Seguro contra daños a terceros que deriven de la ejecución del Proyecto.
- Seguro de accidentes de trabajo en la Mutuality Laboral correspondiente.
- Seguro de automóviles para todos aquellos vehículos del Adjudicatario que tengan acceso a la obra.
- Seguro para toda la maquinaria y el equipo que el Adjudicatario utilice en el trabajo.
- Seguro de incendios para obras, en compañías de reconocida solvencia inscritas en el Ministerio de Hacienda en virtud de la Ley de Seguros Vigente.

5. Ensayos, pruebas y protecciones

5.1. Ensayos en taller

Todas las unidades soldadas serán inspeccionadas mediante control radioscópico, que se llevará a cabo en presencia de representantes de la Propiedad y del Adjudicatario teniendo en cuenta el plazo fijado.

Se ensayarán mecánicamente varias probetas de soldadura realizadas con materiales y operarios que hayan de intervenir en la obra.

Para el caso de los tanques de almacenamiento, se inspeccionarán el 10% de los cordones de soldadura según la norma ASME sección VIII.

En los intercambiadores de calor y en todos los depósitos a presión, se realizarán pruebas de ventosa en todas las uniones soldadas.

Los cilindros de los servomotores y demás órganos que contengan aceite a presión, como son los cuerpos de las bombas de aceite y sus correspondientes válvulas, serán sometidos en taller a una presión de ensayo igual a la de servicio, pero aumentada en un 50%. Los esfuerzos durante el ensayo no deberán, en ningún caso, sobrepasar el 40% de la carga de rotura ni el 80% del límite elástico. Durante dicho ensayo, no deberán producirse deformaciones apreciables ni fugas de filtración alguna.

Para los grupos de motobombas, se realizarán todas las pruebas necesarias según normas para determinar las curvas características. Para el trazado de las curvas de altura manométrica, potencia y rendimiento, se considerarán al menos cinco puntos, desde el caudal cero al caudal máximo nominal.

5.2. Presentación en taller

Con el fin de prever posibles dificultades que pudiesen presentarse en la obra durante el montaje definitivo de los elementos objeto de suministro, la Propiedad puede exigir que se realice en un taller una presentación completa de los distintos elementos, comprobándose cotas, plasticidad, etc.

El Adjudicatario indicará claramente en su oferta, la repercusión económica que represente la realización de estos trabajos de presentación en taller del suministro contratado.

5.3. Protección contra la corrosión

El Adjudicatario deberá proponer la protección más recomendable, en base a su experiencia, para su aprobación por parte de la Propiedad. Esta protección deberá, de una manera general, aplicarse a todas las superficies de los elementos fabricados con materiales oxidables en contacto con el agua y la intemperie, y comprenderá:

- Limpieza de chorro de arena.

- Metalización de zinc, según las normas AENOR A 91-201, con una capa de zinc de 12 centésimas de milímetro de espesor, seguida como mínimo de tres capas de pintura de características convenientemente justificadas.

No obstante, la Propiedad se reserva el derecho a ejecutar total o parcialmente la protección contra la corrosión de todo o parte del suministro, por cuyo motivo el Adjudicatario detallará en el Presupuesto el importe de estas operaciones, que podrán ser deducidas del costo total en el caso de que la Propiedad las realice por su cuenta.

Las partes del suministro que estén mecanizadas serán desengrasadas y se protegerán con una pintura vinílica incolora de tipo arrancable. El tiempo transcurrido desde el tratamiento de la superficie del metal y la aplicación de la pintura no podrá ser superior a veinticuatro horas.

El sistema de protección con pinturas de las diferentes superficies metálicas deberá responder a las condiciones ambientales de la zona geográfica del almacenamiento y a la naturaleza de los productos manejados y condiciones de funcionamiento.

5.3.1. Intercambiadores de calor

Las superficies de los intercambiadores de calor serán tratadas según métodos de preparación de superficie para cada sistema de pintura.

Las superficies metálicas serán limpiadas antes de la aplicación de pinturas de acuerdo con las especificaciones de la National Corrosion Engineers (NACE) y con los estándares fotográficos del comité de corrosión de la Real Academia de la Ciencia Técnica de Suecia (SIS 05.59.00).

Aquellos elementos metálicos complementarios en los que por razones específicas no pueda efectuarse el chorreado, se limpiarán mediante cepillado (grado St. 2).

La preparación de superficies de acero al carbono se realizará siguiendo las especificaciones SIS 05.59.00 y PSC-SP. Si no se especifica lo contrario, se aplicará un chorreado abrasivo a metal blanco SIS Sa 2 ½ (perfil de rugosidad 25/40), según la especificación SSPC-SP 10.

Las superficies externas mecanizadas de acero al carbono se protegerán mediante un inhibidor de corrosión eliminable con agua o disolventes. Dicho inhibidor deberá ser aprobado por el Comprador, así como su método de eliminación. En aquellas superficies sobre las que haya que aplicar algún recubrimiento, se tendrá en cuenta la norma VDI 2532.

Las pinturas se aplicarán con pistola mediante sistema de pulverización a presión sin aire (*airless*) y cuando se den las condiciones ambientales adecuadas.

La protección de las superficies externas de los intercambiadores de calor mediante pinturas se realizará aplicando varias capas:

- Aplicación de una capa de imprimación de cromato amarillo de setenta y cinco micras de espesor de película seca.
- Aplicación de una capa de imprimación de epoxi-cromato de zinc especial de ochenta micras de espesor de película seca.

- Se aplicarán dos capas de esmalte de poliuretano alifático de treinta y cinco micras por capa.

Las estructuras metálicas y soportes complementarios a los intercambiadores se tratarán con:

- Un chorreado Sa 2 ½.
- La aplicación de una primera capa de imprimación, de zinc inorgánico, de setenta y cinco micras de espesor de película seca.
- La aplicación de una segunda capa de resina de ochenta micras de película seca.
- La aplicación de la pintura de acabado, que consistirá en dos capas de esmalte de poliuretano alifático de treinta y cinco micras por capa.

5.3.2. Tuberías

Todas las tuberías deberán ser tratadas con un chorreado previo Sa 2 ½ según las normas SIS 05.59.00.

El chorreado deberá hacerse preferentemente en taller para evitar inundar la instalación de polvo, salvo causa justificada.

Las pinturas que se aplicarán en las tuberías serán:

- Una capa de pintura de imprimación de cuarenta micras de espesor de mínimo a clorocaucho.
- Una capa de pintura de fondo de ochenta micras de espesor de clorocaucho.
- Dos capas de acabado de veinticinco micras por capa de clorocaucho puro.

5.3.3. Columnas y depósitos a presión

Todas las columnas de la instalación de acero al carbono deberán ser tratadas previamente con un chorreado Sa 2 ½ según norma SIS 05.59.00.

Después del tratamiento superficial, se aplicarán las siguientes capas de pintura:

- Una capa de veinticinco micras de espesor de pintura epoxi
- Una capa de veinticinco micras de espesor de pintura de fondo epoxi.
- Dos capas de cuarenta micras de espesor por capa de pintura epoxi.

5.3.4. Bombas

Los tratamientos y acabados de superficie de las bombas dependerán de la atmósfera circundante de la instalación.

La limpieza de las superficies se realizará conforme alguno de los procedimientos que se enlistan a continuación. La selección de uno u otro procedimiento se realizará atendiendo a las recomendaciones del Suministrador.

- Granallado metálico a base de granalla de material no contaminante de la superficie (según norma SIS 05.59.00 Sa 2 ½).
- Chorreado de arena de sílice proyectado por aire comprimido contra la superficie.
- Decapado químico eliminando la capa de óxido y otras impurezas por inmersión en solución ácida.

La superficie se preparará con una capa de Wash Primer para incrementar la adherencia. Se aplicarán las siguientes capas de pintura:

- Una capa de setenta y cinco micras de espesor de pintura de imprimación epoxi.
- Una capa de setenta y cinco micras de espesor de pintura de acabado epoxi.
- Dos capas de cuarenta micras de esmalte sintético.

6. Fabricación, montaje, recepción y garantías

6.1. Inspección fabril

La Propiedad se reserva el derecho a efectuar directamente o por medio de una entidad de su elección, la inspección de la fabricación de los equipos con vistas al cumplimiento de los plazos, a la calidad de los materiales y a las técnicas empleadas, tanto en las fábricas o instalaciones del Adjudicatario, como en las de sus suministradores.

A efectos de la cláusula anterior, el Adjudicatario se ve obligado a asegurar en cualquier momento a los representantes de la Propiedad, debidamente acreditados, el libre acceso a las fábricas o instalaciones, así como proporcionar todas las facilidades para que éstos puedan cumplir su misión.

El Adjudicatario deberá informar a la Propiedad, en tiempo hábil, de la fecha fijada para la realización de los ensayos previstos y de la recepción de materias primas, así como de la ejecución de las operaciones más importantes de la fabricación o montaje, de manera que la Propiedad pueda enviar a sus representantes a presenciar, de estimarlo preciso, dichos ensayos u operaciones.

Independientemente de la presencia o no de los representantes de la Propiedad, el Adjudicatario deberá repartir a ésta, por triplicado, memorias de todos los ensayos realizados.

6.2. Montaje e inspección

Se deberán presentar, para su aprobación, una relación nominal del personal técnico que se ocupará de la ejecución de los montajes, indicando las funciones a realizar por cada uno de ellos y acreditando su capacidad técnica para el desarrollo de los mismos.

En caso de que, a juicio de la Propiedad, el personal técnico designado por el Adjudicatario sea insuficiente, éste se verá obligado a completar su organización con el número de técnicos necesarios, según el criterio de la propiedad.

La Propiedad se reserva el derecho de recusar, en caso de no satisfacerle el desarrollo de las operaciones de montaje, tanto al representante del Adjudicatario como a cualquier otro miembro de su organización en la obra y obligar a este a sustituirlo en plazo de treinta días por otro de igual categoría.

El Adjudicatario podrá cubrir con compañías de seguros los riesgos relativos a los materiales y equipos en curso de montaje. Este seguro será ampliado para cubrir, además, los daños que cause a la Propiedad o a terceros durante o por causa de las operaciones de montaje.

La Propiedad podrá señalar la obligatoriedad del seguro de los materiales y equipos en curso de montaje. Este seguro será ampliado para cubrir, además, los daños que cause a la Propiedad o a terceros durante o por causa de las operaciones de montaje.

El personal de inspección de la Propiedad podrá ordenar la suspensión de los trabajos que no estuviesen ejecutados de acuerdo con las condiciones y especificaciones contractuales. La orden de suspensión será confirmada por escrito.

Siempre que fuese necesario enviar una pieza o equipo a fábrica como consecuencia de un error o avería, los gastos de transporte, seguros y otros, correrán a cuenta del Adjudicatario.

Los gastos, encargos y cualquier formalidad necesaria para la importación temporal o reexportación de herramientas, instrumentos o material a utilizar en la ejecución del suministro, serán a cargo del Adjudicatario.

La Propiedad fiscalizará directamente a través de sus representantes los trabajos de montaje. A este efecto, estará asegurado al personal de inspección de la Propiedad el libre acceso a cualquier hora de las oficinas de obra, almacenes u otros locales de trabajo del Adjudicatario, que está en la obligación de facilitarle cuantos datos y aclaraciones sean precisos.

6.3. Controles

El Adjudicatario se asegurará, por unos controles apropiados, de la buena calidad del material entregado. Los resultados de estos controles serán sometidos a la aprobación de la Propiedad, quien podrá exigir, si lo cree necesario, la realización de controles suplementarios.

6.3.1. Intercambiadores de calor

Antes de iniciar la fabricación de los cambiadores de calor, el Proveedor someterá a la aprobación de la Propiedad de los procedimientos de soldadura (WPS) que ha de utilizar, debidamente respaldados por sus certificados correspondientes de calificación (PQR), emitidos por una Entidad Colaboradora de la Administración (ENICRE), así como los certificados de homologación de los soldadores que han de participar en la fabricación.

Examen visual del aspecto general, sin que se aprecien defectos de fabricación o de transporte.

Ensayos de pruebas o presentación de documentos administrativos, según la normativa correspondiente.

6.3.2. Tuberías

Las tuberías se deberán manipular sin movimientos bruscos y sin arrastre del material por el terreno.

Inspección visual del aspecto general, sin que se aprecien defectos de fabricación o de transporte.

Recopilación de copia de solicitud y aceptación del suministro del material por el Adjudicatario y el Proveedor, respectivamente, con el albarán de recepción. Se incluirá además el Certificado de Fabricación y las Pruebas de los lotes de suministros.

Identificación de las tuberías con gravado longitudinal de la designación comercial, material, diámetro, espesor, presión de trabajo, normas y año de fabricación.

6.3.3. Columnas y depósitos de presión

Se realizará el suministro en unidades, según capacidad, perfectamente terminado, sin defectos superficiales de fabricación o de transporte.

Se deberá recopilar de la copia de solicitud y aceptación del suministro del material por el Adjudicatario y el Proveedor, respectivamente, con albarán de recepción. Se incluirá:

- Certificado de Fabricación y Pruebas de los lotes suministrados.
- Certificado de Homologación y timbrado MINER.

Identificación de depósitos con placa situada al lado de la boca en la que figure la designación comercial, número de registro y fabricación, presión de prueba, presión de timbre, superficie exterior, capacidad y fecha de pruebas. Inspección visual del aspecto general, sin que se aprecien defectos de fabricación o de transporte.

6.3.4. Bombas

Comprobar que la instalación está completa y ha sido llenado de aceite todo el sistema de lubricación.

Verificar que el motor y las bombas estén adecuadamente alineados.

Se debe comprobar que todos los componentes del sistema de limpieza (filtros, orificios de restricción, presostatos, alarmas de nivel y enfriadores) estén correctamente instalados y limpios.

6.3.5. Prueba hidráulica en taller

La Propiedad podrá exigir la realización de una prueba hidráulica en taller. El Adjudicatario deberá proveerse de los fondos de cierre para poder realizarlos.

La presión de prueba que se determinará en cada caso no será inferior a 1,5 veces la presión máxima de diseño.

Si las pruebas revelasen defectos inadmisibles, tales como fugas y deformaciones locales, el Adjudicatario someterá a la aprobación de la Propiedad el procedimiento de reparación y, una vez reparada la pieza, se repetirá la prueba hidráulica.

6.4. Acta de fin de montaje

Cuando el Adjudicatario considere que los equipos están en condiciones óptimas para entrar en servicio, lo comunicará por escrito a la Propiedad y se procederá a una revisión general conjunta del montaje, levantándose, si procede, un acta de final de montaje firmada por los representantes cualificados de ambas partes.

6.5. Ajustes, ensayos y servicio experimental

Finalizado el montaje, serán efectuados los ajustes, ensayos y puestas en servicio experimentales de acuerdo con las condiciones establecidas.

La instrucción de entrenamiento del personal de la Propiedad por parte del Adjudicatario será efectuada en este período.

Salvo que se establezca otro acuerdo, la transferencia del equipo y materiales objeto del suministro tendrá lugar en la fecha de su entrada en servicio industrial; sin embargo, la cesión de posibles equipos importados por la Propiedad se hará con la entrega del conocimiento de embarque, carta de porte o documento similar, si bien el riesgo y la garantía será por cuenta del Adjudicatario hasta la entrada de los equipos en servicio industrial.

6.6. Recepción provisional

Finalizado el servicio experimental y simultáneamente al comienzo del servicio industrial, será levantada, con anterioridad a la realización de los ensayos de recepción correspondientes, un Acta de Recepción Provisional firmada por representantes cualificados tanto de la Propiedad como del Adjudicatario.

Si por motivos no imputables al Adjudicatario, los ensayos de recepción no pudiesen ser efectuados, la recepción provisional será considerada como realizada ciento veinte días después de la fecha en que las pruebas debieron haber comenzado. Sin embargo, el Adjudicatario está obligado a realizar dichos ensayos antes de la fecha de recepción definitiva.

La Dirección Técnica levantará, por triplicado, un Acta de Recepción de las Obras en la que se harán constar las posibles deficiencias en los trabajos, así como el plazo para subsanar éstas.

Si las obras se encuentran en condiciones óptimas y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones marcadas, se darán por recibidas, comenzando a contar en dicha fecha el plazo de garantía establecido en el contrato, que será como mínimo de tres meses.

En el caso de no hallarse la obra en estado de ser recibida, así se hará constar en el Acta, otorgándose además al Adjudicatario y/o Proveedor en la misma las instrucciones precisas y detalladas para remediar los defectos observados y fijándose un plazo para subsanar éstos. Expirado dicho plazo, se realizará un nuevo reconocimiento en idénticas condiciones a fin de proceder de nuevo a la recepción provisional de las obras. Los trabajos de reparación corren por cuenta del Adjudicatario, de forma que, de no cumplirse las prescripciones, el contrato podrá considerarse como rescindido, con la pérdida de la fianza.

6.7. Período de garantía

La fecha del Acta de Recepción Provisional será el comienzo del período de garantía. El Adjudicatario podrá mantener en la obra a todo o parte de su personal especializado, si bien posibilitará la presencia de éste siempre que la Propiedad lo exija o en caso de anomalías de funcionamiento o averías.

La duración del período de garantía será la acordada entre la Propiedad y el Adjudicatario a la hora de la formulación del contrato, y comenzará a contar a partir de la fecha de firma del Acta de Recepción Provisional.

Durante el plazo de garantía, el Adjudicatario reemplazará cualquier pieza o equipo defectuoso, debido a una mala concepción, defecto o calidad inadecuada de las materias primas empleadas, defecto de fabricación o error de montaje. Todas estas sustituciones y posibles trabajos de construcción civil deberán ser realizados en el menor tiempo posible, corriendo todos los gastos a cuenta del Adjudicatario.

No eximirá al Adjudicatario de responsabilidad alguna el hecho de que el Ingeniero Director o sus subalternos hayan examinado las obras durante su construcción, reconocido sus materiales o hecha la valoración en las relaciones parciales. En consecuencia, de observarse vicios o defectos antes de la recepción definitiva, se podrá disponer a la demolición o reconstrucción de las partes defectuosas.

Durante el período de garantía, cualquier equipo, componente o pieza a sustituir por otro u otros en razón de la misma calidad, tendrá a partir de la fecha de entrada en servicio un plazo de garantía igual al del equipo o pieza al que sustituya.

Si como consecuencia de defectos o accidentes imputables al Adjudicatario el equipo no pudiese funcionar, en parte o en todo el período de garantía, el tiempo en que el equipo no pueda operar será añadido al plazo de garantía.

6.8. Recepción definitiva

Transcurrido el plazo de garantía, previo reconocimiento de las obras y demás trámites reglamentarios, y en el supuesto de que todos los trabajos se encuentren en las debidas condiciones, se procederá a efectuar la recepción definitiva de las obras, para lo cual se elaborará la correspondiente Acta de Recepción Definitiva, en la que se relatarán las incidencias

habidas durante el período de garantía y que deberá estar firmada por representantes cualificados de la Propiedad y el Adjudicatario.

Hasta que el representante de la Propiedad no haya aprobado la recepción definitiva de los trabajos, el Adjudicatario se hará cargo de roturas, robos de material, averías, etc., cualquiera que fuese el motivo, aun cuando el desperfecto se haya producido en una operación ordenada por la Propiedad con el conocimiento del Adjudicatario.

Si son necesarias pruebas de funcionamiento, capacidad de producción, etc., para la recepción definitiva de algún elemento o del conjunto, el Adjudicatario dirigirá dichas pruebas y cargará con los gastos de todos los medios y creación de condiciones, salvo si todos o parte de tales gastos fueran incluidos en la adjudicación como obligaciones de la Propiedad.

Con anterioridad a la recepción definitiva, serán resueltas todas las reclamaciones planteadas y habrán transcurrido todos los plazos de garantía de los equipos en los que se considere oportuna esta decisión.

Efectuada la recepción definitiva de todo suministro, cesa la garantía establecida.

7. Almacenamiento, transporte y seguros

7.1. Almacenamiento

La Propiedad indicará la capacidad de los almacenes o explanadas de propio acopio de los que dispondrá el Adjudicatario en obra, así como la fecha a partir de la cual podrá disponer de ellos.

Queda terminantemente prohibido, salvo autorización escrita del Ingeniero Director, efectuar acopios de materiales, cualquiera que sea su naturaleza, en zonas que dificulten el adecuado transcurso de los trabajos.

Los materiales se almacenarán en forma tal que se asegure la preservación de su calidad para su utilización en obra, requisito que deberá ser comprobado en el momento de dicha utilización.

Las superficies empleadas como zonas de acopio deberán acondicionarse una vez finalizado el uso de los materiales en ellas acumulados, de forma que puedan recuperar su aspecto original.

Todos los gastos requeridos para efectuar el almacenamiento, manutención o guarda serán por cuenta del Adjudicatario.

7.2. Transporte

Salvo que la Propiedad indique lo contrario, compete al Adjudicatario transportar a las instalaciones de la obra todos los materiales y equipos objeto del suministro desde sus fábricas, colocándose en buenas condiciones de manejabilidad, conservación y seguridad en los lugares destinados por la Propiedad a tal fin.

El Adjudicatario deberá prever que ninguna expedición sea hecha desde sus fábricas o desde las de sus suministradores sin aprobación previa por parte de la Propiedad, teniendo en cuenta que:

- Se respetarán las fechas previstas en el programa de trabajos.
- El escalonamiento de envíos en las fechas más favorables para la buena marcha de los trabajos y la óptima utilización de las superficies reservadas a parques.
- La eventual inspección de los embalajes y otras condiciones de trabajo.
- La eventual colaboración de la Propiedad en la resolución de los problemas de transporte que puedan resultar de volúmenes o pesos excesivos, en especial cuando su resolución dependa de Organismos Oficiales del Estado.

La aceptación por parte de la Propiedad de los embalajes, acondicionamiento y medios de transporte no exime de su responsabilidad al Adjudicatario en lo que respecta al transporte, así como al funcionamiento y duración de los materiales y equipos expedidos.

Los embalajes de los materiales y equipos entregados en las instalaciones de la obra pasarán a ser dominio de la Propiedad después de su utilización.

El Adjudicatario deberá prever que la Propiedad reciba, para cada expedición y con antelación suficiente, una lista de embalajes con indicación fácil y correcta.

7.3. Seguros de transporte

El seguro de materiales y equipos entregados en tránsito será efectuado por el Adjudicatario, a no ser que la Propiedad haga constar expresamente que suscribirá un seguro por su cuenta.

7.4. Importación de materiales y equipos

Los trámites aduaneros de los equipos fabricados en el extranjero y de los materiales (partes, piezas o accesorios) destinados a ser incorporados a los equipos fabricados en España, serán hechos en nombre de la Propiedad por el Adjudicatario.

En caso de que el Adjudicatario no pudiese llevar a cabo los trámites citados en la cláusula anterior, la Propiedad llevará a cabo la tramitación y despacho en aduanas de los materiales importados, por cuenta del Adjudicatario.

El Adjudicatario obtendrá a su debido tiempo la documentación necesaria para la importación y para el paso en tránsito por un tercer país, en caso de que fuese necesario.

El Adjudicatario deberá comunicar por escrito a la Propiedad, por cada fabricante extranjero y en relación con el equipo a importar, los siguientes elementos: designación, peso líquido, valor, procedencia y moneda de pago.

El Adjudicatario deberá obtener, a su debido tiempo, la documentación necesaria para que los trámites aduaneros se efectúen en las mejores condiciones, independientemente de que la Propiedad gestione, si procede, la exención de derechos de importación.

8. Organización de las obras

8.1. Dirección de las obras y representación del Adjudicatario

La dirección de las obras estará a cargo del personal técnico de la Propiedad. Se hará saber al Adjudicatario quién es el Ingeniero Encargado o Director Técnico de las obras, cuyas principales funciones, que afectan fundamentalmente a las relaciones con el Adjudicatario, son:

- Exigir al Adjudicatario, directamente a través del personal a sus órdenes, el cumplimiento de las condiciones contractuales.
- Garantizar la ejecución de las obras con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas, y el cumplimiento del programa de trabajos.
- Definir aquellas condiciones técnicas que el presente Pliego de Condiciones deje a su decisión.
- Resolver todas las ecuaciones técnicas que surjan en cuanto a interpretación de planos, condiciones de materiales y de ejecución de unidades de obra, siempre que no se modifiquen las condiciones del contrato.
- Estudiar las incidencias o problemas planteados en los trabajos que impidan el normal cumplimiento del contrato o aconsejen su modificación, tramitando en su caso, las propuestas correspondientes.
- Proponer las actuaciones procedentes para obtener, de los organismos oficiales y de los particulares, los permisos y autorizaciones necesarios para la ejecución de las obras y ocupación de los bienes afectados por ellas, y resolver los problemas planteados por los servicios y servidumbres relacionados con las mismas.
- Asumir personalmente, y bajo su responsabilidad, en casos de urgencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso, para lo cual el Adjudicatario deberá poner a su disposición el personal y material de la obra.
- Participar en las recepciones provisional o definitiva y redactar la liquidación de las obras, conforme a las normas legales establecidas.
- El Adjudicatario estará obligado a prestar su colaboración al Ingeniero Director para el normal cumplimiento de las funciones a éste encomendadas.

Antes de iniciarse los trabajos, el Adjudicatario deberá indicar a la Propiedad el nombre de su representante al frente de los mismos, que actuará como Jefe de Montaje, tanto en los aspectos técnicos como económicos. Los poderes del Jefe de Montaje deben ser lo suficientemente amplios para recibir y resolver en consecuencia las comunicaciones y órdenes de la Propiedad. En ningún momento servirá de excusa al Adjudicatario la ausencia de su representante a pie de obra.

También antes del comienzo de las obras, el Adjudicatario deberá presentar para su aprobación la relación nominal del personal técnico que se ocupará de la ejecución de los montajes, indicando las funciones a desarrollar por cada uno de ellos.

La Propiedad se reserva el derecho a recusar al jefe o a cualquier otro técnico destinado por el Adjudicatario en la obra durante el desarrollo de los trabajos, viéndose éste obligado a sustituirlo por otro de igual categoría en un plazo de treinta días.

En caso de que, a juicio de la Propiedad, el personal técnico designado por el Adjudicatario no sea suficiente para la buena marcha de los trabajos, éste se quedará obligado a contemplar su organización con el número de técnicos que fuese necesario según el criterio de la Propiedad.

8.2. Terrenos para la ejecución de las obras

La Propiedad señalará al Adjudicatario los límites de los terrenos de su propiedad de los cuales le permite montar sus instalaciones, y dará acceso a los mismos. Todo esto aparecerá reflejado en los planos que se entreguen a los concursantes para el estudio de las ofertas.

Se supone en el Adjudicatario un conocimiento perfecto de la disposición del conjunto de terrenos, de la importancia y situación de los trabajos objeto del contrato, de la naturaleza y estado de los terrenos, de los emplazamientos reservados para las obras, de los medios de acceso y de las condiciones climáticas de la región, en especial de aquellas que pueden afectar a los trabajos.

La obligación de la Propiedad en cuanto entrega de terrenos necesarios queda limitada a las parcelas que figuran y se reseñan en los planos que se entregan a los concursantes con la petición de oferta, debiendo además estos últimos definir lo que se entiende por la zona de montaje.

Si por conveniencia del Adjudicatario, éste dejase disponer de otros terrenos distintos de los figurados y reseñados en los planos mencionados en el párrafo anterior, correrá por su cuenta la adquisición o la obtención de las autorizaciones pertinentes, debiendo el Adjudicatario someter previamente a la aprobación de la Propiedad las modalidades de adquisición o de obtención de la autorización oportuna.

El Adjudicatario se hará responsable de los daños que pueda causar en las vías públicas y en los caminos de acceso si éstos son de particulares o de la propiedad. Del mismo modo, está en la obligación de cumplir todas las limitaciones y solicitar los permisos de transportes especiales, etc. En cualquier caso, el Adjudicatario responderá por todos los perjuicios que, como consecuencia del contrato, se puedan causar a terceras personas en bienes muebles, inmuebles, cosechas, etc., siendo de su competencia las reclamaciones que puedan formularse como consecuencia de dichos perjuicios.

8.3. Instalaciones auxiliares

En caso de que la obra se construya en una zona en la que la Propiedad distribuya energía eléctrica, ésta facilitará al Adjudicatario la potencia necesaria para sus instalaciones y le comunicará la cantidad que le cobrará por la energía consumida. La red de distribución de energía en las zonas de obra será por cuenta del Adjudicatario, deberá estar constituida por

cables aislados y no deberá interferir en otros trabajos en marcha, por lo que su instalación deberá ser previamente autorizada por la Propiedad en caso de estar ubicada en un recinto de la obra, debiendo cumplir todas las normas y reglamentos oficiales vigentes.

El abastecimiento de agua y de aire comprimido necesario para la obra será cuenta del Adjudicatario y su instalación deberá cumplir las normas y reglamentos oficiales en vigor.

La Propiedad podrá facilitar, en caso de disponer de los mismos, de materiales y medios auxiliares en las condiciones que se establezcan. Será por cuenta y responsabilidad del Adjudicatario:

- Los medios y materiales necesarios para la construcción, desmontaje, demolición o retirada en el plazo que se le indique, de sus instalaciones en obra tales como oficinas, almacenes, comedores, etc.
- Los medios para asegurar la vigencia y conservación del material almacenado en obra o curso de montaje.
- Todas las herramientas o medios necesarios para la ejecución del montaje, tales como electrodos, etc.
- Todos los ensayos de componentes o materias primas que se estimen necesarios en curso de montaje, sean elaborados tanto en el laboratorio de obra como ajenos.
- Las diligencias o gastos necesarios para la realización de las operaciones normales de inspección por parte de los organismos oficiales.

El Adjudicatario no podrá ampararse, para eludir las obligaciones del contrato, en las dificultades que puedan ser ocasionadas por la ejecución simultánea de otros trabajos o instalaciones confiadas por la Propiedad a otros contratistas o suministradores que intervengan en la realización del mismo proyecto.

El Adjudicatario no podrá reclamar si en el curso de los trabajos y para el adecuado cumplimiento del contrato fuese preciso aumentar la importancia de su material, en calidad y cantidad, respecto a sus previsiones iniciales. De cada nueva aportación de maquinaria se formalizará una nota análoga a la que forma parte del contrato para la maquinaria y útiles aportados inicialmente, que será unida como anexo al contrato.

Sin embargo, cuando el Adjudicatario se vea obligado a poner en servicio material suplementario para responder, bien a circunstancias imprevistas en el contrato, bien a causas de fuerza mayor debidamente comprobadas y en cualquiera de ambos casos reconocidas previamente por la Propiedad, la utilización de ese material será de abono por aplicación de precios complementarios establecidos de común acuerdo, conforme a las disposiciones que se fijan en el presente Pliego de Condiciones.

8.4. Relación entre la Propiedad y el Adjudicatario

El Adjudicatario estará obligado a suministrar, en cualquier momento, toda la información relativa a la ejecución del contrato que la Propiedad estime necesario conocer por causa de las

posibles incidencias de los trabajos al Adjudicatario sobre los de otros contratistas o administradores.

En ningún caso, las peticiones de información dirigidas al Adjudicatario por la Propiedad supondrán una injerencia de la Propiedad en la ejecución del contrato, ni entrañarán una participación de la Propiedad en la responsabilidad del Adjudicatario. Estas peticiones tendrán únicamente un carácter informativo.

En todo caso, el Adjudicatario es el único responsable del ejercicio de la función que le es propia, en orden a las obligaciones del contrato.

Siempre que sea requerido, el Adjudicatario, o a efectos, su representante, deberá presentarse en el domicilio de la Propiedad de la obra con el fin de que no pueda imputarse su ausencia como causa de retraso o suspensión del cumplimiento de las órdenes de la Propiedad.

La coordinación de las actividades del Adjudicatario necesarias para la ejecución del suministro con la de otros contratistas de la Propiedad o con cualquier entidad ajena al contrato con la que haya necesidad de tratar, es competencia de la propiedad.

Siempre que el Adjudicatario establezca contacto con otros contratistas de la Propiedad para tratar asuntos relativos a la buena ejecución del suministro, estará obligado a enviar a la Propiedad copias de las comunicaciones y correspondencia producida, de forma que las decisiones tomadas durante tales contactos tan sólo se harán efectivas de ser aprobadas por escrito por la Propiedad.

Si, como consecuencia de los anteriores contactos, surgiesen diferencias o dificultades, el Adjudicatario deberá pedir una reunión con la Propiedad o sus representantes, que las resolverán con arreglo a los contratos establecidos con las partes implicadas. Las reuniones de esta naturaleza deberán ser solicitadas con una antelación de al menos diez días.

La Propiedad, siempre que lo juzgue conveniente, convocará a iniciativa suya o a petición del Adjudicatario, reuniones con éste, y de ser necesario, con otros contratantes, a fin de discutir y resolver de acuerdo con el programa de trabajos aprobado, los problemas que resulten de la coordinación de las obras en curso, de la ocupación sucesiva de locales en la obra, de la disponibilidad de medios de utilización común y otros.

Cuando varios contratistas y suministradores utilicen las instalaciones generales pertenecientes a uno de ellos, se pondrán de acuerdo sobre este uso suplementario y el reparto de gastos correspondiente.

La Propiedad deberá estar permanentemente informada de los acuerdos a los que lleguen los distintos contratistas o suministradores para, en el caso de presentarse dificultades o diferencias, tomar la resolución que proceda o actuar como árbitro. La decisión es obligatoria para los interesados. En ningún caso, la Propiedad deberá encontrarse durante los trabajos en presencia de una situación derivada de una falta de información por parte del Adjudicatario o de los otros suministradores o contratistas de las obras.

Cuando varios contratistas y suministradores trabajen en la misma obra, cada uno de ellos es responsable de los daños y perjuicios de toda clase que puedan derivarse de su propia actuación.

8.5. Subcontratos de obras

A menos que el contrato disponga lo contrario, o de que de su naturaleza y condiciones se deduzca que la obra ha de ser ejecutada directamente por el Adjudicatario, este último podrá contratar a terceros la realización de determinadas unidades de obra, cumpliendo para ello con los siguientes requisitos:

- Notificar por escrito al Ingeniero del subcontrato las partes de obra a realizar y las condiciones económicas, de modo que éste las pueda autorizar previamente.
- Las unidades de obra que el Adjudicatario contrate con terceros no deben exceder el 50% del presupuesto total de la obra principal.

La subcontratación deberá siempre supeditarse a la autorización previa por parte de la Propiedad.

En cualquier caso, la Propiedad no quedará vinculada en absoluto, ni reconocerá ninguna obligación contractual entre ella y el Subcontratista, de forma que cualquier subcontratación de obra no eximirá al Adjudicatario de ninguna de sus obligaciones respecto a la Propiedad.

8.6. Personal de montaje

Es por cuenta y responsabilidad del Adjudicatario el reclutamiento de todo el personal especializado, no especializado y auxiliar para la dirección y ejecución del montaje, así como todos los gastos de este personal, tales como viajes, alojamientos, dietas, desplazamientos del personal, alojamiento en obra y desplazamientos dentro de la propia obra.

Cualquiera que sea la nacionalidad del Adjudicatario, el reclutamiento de personal deberá cumplir las leyes en vigor.

Si el Adjudicatario emplea en obra personal extranjeros, será de su cuenta y cargo la obtención de las condiciones necesarias para que pueda trabajar en España.

Todos los trabajadores, independientemente de su nacionalidad, acatarán las leyes laborales nacionales vigentes en cuanto a horarios, seguros sociales, etc., además de aquellas de carácter general que estén vigentes para todo el personal de obra.

Al frente de cada trabajo de montaje, el Adjudicatario deberá tener a pie de obra un técnico titulado de cualquier especialidad o condición que pueda acreditar de forma satisfactoria ante la Propiedad su competencia en la clase de trabajos que desempeñe.

El Adjudicatario es responsable de los fraudes o malversaciones que sean cometidas por su personal en el suministro o empleo de materiales.

El número de trabajadores de cada profesión deberá ser siempre proporcionado a la cantidad y obra a ejecutar, teniendo en cuenta los plazos fijados.

El Adjudicatario está obligado a mantener la disciplina y el orden en los lugares de trabajo.

La propiedad se reserva el derecho a exigir la retirada de la obra de cualquier operario al servicio del Adjudicatario, por motivo de falta de obediencia y respeto, o a causa de actos que comprometan o perturben, a juicio de la misma, la marcha de los trabajos.

El Adjudicatario podrá recurrir si se entendiese que no hay motivo fundado para dicha prohibición.

8.7. Seguros y asistencia médica

El Adjudicatario no podrá comenzar los trabajos sin justificar previamente ante la propiedad, tener cubiertos los seguros por accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, de acuerdo con la legislación vigente.

El Adjudicatario asegurará por sí o por medio de una Compañía de Seguros adecuada, la prestación de asistencia médica o de enfermedad al personal.

El Adjudicatario es responsable de las condiciones de seguridad de los trabajos, estando obligado a adoptar y hacer aplicar, a su costa, las disposiciones vigentes sobre esta materia, las medidas que dicten la Inspección de Trabajo y demás organismos competentes y las normas de seguridad que correspondan a las características de las obras contratadas.

Con objeto de organizar colectivamente y de inspeccionar la seguridad y la higiene de las obras, todos los contratistas que trabajen en las mismas deberán, por indicación de la Propiedad, agruparse en el seno de una Junta Central de Seguridad, formada por los representantes de las empresas, Junta que tendrá por misión coordinar las medidas de seguridad adoptadas por los comités u organizaciones de seguridad de cada una de las empresas.

9. Abono de las obras

9.1. Definición de precios

Los gastos de bienes y servicios objeto de suministro, serán expresados en euros y cubrirán la fabricación, el suministro y montaje de todos los equipos ensayados y en funcionamiento, así como los repuestos y servicios adicionales que se especifiquen.

Los gastos de primer establecimiento y desmontaje y retirada de las instalaciones de obra, estarán incluidos en el precio del suministro.

Todos los precios unitarios o globales comprenden, sin excepción ni reserva, además del beneficio del Adjudicatario, la totalidad de los gastos y cargas ocasionadas por la ejecución en los plazos establecidos de los trabajos correspondientes a cada uno de ellos, incluidos los que resulten de las obligaciones impuestas al Adjudicatario por los diferentes documentos del contrato y por el presente Pliego de Condiciones.

El precio de los materiales y equipos que componen el suministro comprenderá:

- Coste en factoría de los materiales y equipos, sean de procedencia nacional o extranjera, incluido el embalaje adecuado.
- Coste del transporte de factoría a pie de obra y distribución dentro de ésta.
- Coste del seguro de transporte.
- Coste unitario de las piezas de repuesto que se establezcan.

En el precio de materiales y equipos estarán incluidos los estudios de fabricación, dibujos, esquemas eléctricos, etc., así como los derechos de patente, y demás, que puedan incidir sobre los mismos, quedando la Propiedad libre de cualquier exigencia por parte de terceros sobre los citados derechos.

En el precio del transporte estarán incluidos cargas, descargas, transbordos, colocación en parque o almacén, incluso guarda, así como los gastos correspondientes a derechos aduaneros o permisos de importación, en caso de haberlos.

El coste y montaje incluirá los gastos de instrucción y adiestramiento del personal de la Propiedad que se hará cargo de la explotación de las instalaciones, el precio de los seguros y los ensayos de los equipos e instalaciones realizados, siguiendo las pautas fijadas en el presente Pliego, al finalizar el montaje.

9.2. Prestaciones accesorias y trabajos por admisión

El Adjudicatario está obligado a realizar, a título accesorio, trabajos de pequeña importancia y prestaciones complementarias en régimen de administración.

Los trabajos realizados en régimen de Administración se liquidarán de la siguiente forma:

- Empleo de mano de obra y materiales: el importe a abonar por estos conceptos viene dado por la fórmula siguiente:

$$I = (J + M) \frac{100 + n}{100} \quad (1)$$

Siendo:

J = Importe total de la mano de obra, obtenido aplicando al total de horas trabajadas por el personal obrero de cada categoría, directamente empleado en estos trabajos, la tarifa media horario correspondiente, según baremo establecido, incluyendo jornales, cargas sociales, gastos de alojamiento y porcentaje de útiles y herramientas.

M = Precio pagado según factura de los materiales y suministros utilizados en estos trabajos, incluido el transporte hasta almacén de obra.

n = Porcentaje de aumento de los conceptos anteriores, que cubre los demás gastos, gastos generales y beneficio. Este valor se fijará en el contrato y será siempre menor o igual que 20.

- Empleo de equipo auxiliar: la mano de obra directa, combustibles y energía correspondientes al empleo de maquinaria o equipo auxiliar del Adjudicatario, para la ejecución de trabajos o prestaciones de servicios pagados por la Administración, se abonará al Adjudicatario por aplicación de las fórmulas anteriores.

Además, se abonará al Adjudicatario una remuneración según tarifa, expresada en tanto por mil, en concepto de utilización de la maquinaria, incluyendo los gastos de conservación, reparaciones y cambios.

Se empleará una o varias tarifas según el tipo de maquinaria, expresadas siempre en tanto por mil del valor de la máquina por hora efectiva de utilización (o bien por día natural de utilización).

Cuando se decida de común acuerdo traer a la obra nueva maquinaria, especialmente para trabajos por Administración, se empleará también la fórmula, pero se asegurará al Adjudicatario una remuneración diaria mínima en concepto de inmovilización expresada también en un tanto por mil del valor de la máquina, por día natural de inmovilización.

Además, en este caso, se abonará al Adjudicatario el transporte de la maquinaria a obra, ida y vuelta, y los gastos de montaje y desmontaje, si los hubiere, según la ecuación (1) indicada anteriormente.

Cuando una máquina sea utilizada con posterioridad a la fecha en que su empleo era necesario para terminar los trabajos objeto del presente Contrato, a partir de la misma se asegurará al Adjudicatario la percepción del mínimo de inmovilización antes señalado.

Los importes obtenidos por todas las expresiones anteriores se incrementarán también en el mismo porcentaje n anteriormente citado, que cubre los demás gastos, gastos generales y beneficio.

El convenio de Adjudicación o el Pliego de Condiciones Particulares establecerán los detalles complementarios que sean precisos.

9.3. Trabajos no previstos

Cuando se juzgue necesario ejecutar trabajos no previstos, se prepararán los precios contradictorios correspondientes, teniendo en cuenta los del contrato o, por asimilación, los de obras semejantes. Los nuevos precios se basarán en las mismas condiciones económicas que los precios del contrato.

A falta de mutuo acuerdo y en espera de la solución de la discrepancia, se liquidará provisionalmente al Adjudicatario en base a los precios fijados por la propiedad.

Si no hubiese conformidad en la fijación de dichos precios entre la Propiedad y el Adjudicatario, éste quedará relegado de la construcción de la parte de la obra de que se trate, sin derecho a indemnización de ninguna clase. En esta situación en la que, a juicio de la Propiedad, sea imposible el fijar nuevos precios, o así le convenga a esta última, corresponderá únicamente a ella la decisión de abandonar excepcionalmente los trabajos en régimen de administración.

Cuando se proceda al empleo de los materiales o ejecución de las obras de que se trate, sin la previa aprobación de los precios que hayan de aplicárseles, se entenderá que el Adjudicatario se conforma con los que le fije la propiedad.

9.4. Revisión de precios

En caso de variación de las condiciones económicas en el curso de la ejecución del contrato, los precios establecidos serán revisados por la aplicación de la fórmula general:

$$P = K P_0 \quad (2)$$

Siendo:

P = Precio de origen a revisar (€)

P_0 = Nuevo valor del precio P tras la revisión (€)

K = Coeficiente calculado según la siguiente expresión:

$$K = 0,15 + a \frac{H_i}{H_0} + b \frac{M_i}{M_0} \quad (3)$$

En donde:

a y b = Coeficientes de influencia que cumplen la característica de que $a + b = 0,85$

H_0 y H_i = Índices correspondientes a mano de obra en la fecha de presentación de la oferta y en el período en el curso del que se ha calculado la revisión, respectivamente.

M_0 y M_i = Índices correspondientes a materiales en la fecha de presentación de ofertas y en el período en el curso del cual se ha calculado la revisión, respectivamente.

Los índices que han de utilizarse en la formulación de las expresiones de revisión serán los índices oficiales de precios sometidos mensualmente a la aprobación del Gobierno por el Comité Superior de Precios de Contratos del Estado y publicados en el Boletín Oficial del Estado.

Para un mismo contrato, se pueden prever uno o varios coeficientes K , aplicándose cada uno de ellos a un determinado grupo de precios.

La revisión de los precios se realizará únicamente en caso de producirse variaciones en los índices previstos en cada caso.

La propiedad establecerá en cada caso particular la fórmula o fórmulas de revisión a emplear y las normas complementarias de aplicación de las mismas. Salvo que se indique lo contrario, serán de aplicación las fórmulas oficiales aplicables a las obras realizadas para el Estado que parecen en las memorias de Comisión de Precios, publicadas periódicamente por el Ministerio de Obras Públicas.

Si los trabajos no han terminado al final del plazo global de ejecución previsto en el Convenio, prolongados, si da lugar, en un tiempo igual al de los retrasos reconocidos y aceptados por la propiedad, resultantes de circunstancias no imputables al Adjudicatario, los coeficientes K a utilizar en la continuación de las obras no podrán, en ningún momento, ser superiores a los alcanzados en la época de terminación del plazo. Todos los valores inferiores de estos índices serán, por el contrario, aplicado a partir de la época en la que los mismos se hayan comprobado.

En principio, no serán revisables más que los precios que se refieran a prestaciones efectuadas en territorio español.

Además, cuando estos precios contengan elementos que dependan de un sistema económico, su revisión se limitará únicamente a la fracción de cada uno de ellos que dependa de las variaciones económicas comprobadas en España.

Si el contrato prevé excepcionalmente la revisión de los precios que dependan en su totalidad o en parte de un sistema económico extranjero, el importe revisado por medio de las fórmulas contractuales previstas a este efecto estará limitado a l valor obtenido:

- Convirtiendo el precio inicial, cuando esté fijado en divisas extranjeras, a euros, al tipo de cambio aplicable en la fecha de referencia de precios.
- Aplicando al precio inicial, expresado en euros, la fórmula de revisión contractual, después de haber reemplazado los índices en vigor en el país extranjero por los índices o tipos de la misma naturaleza establecidos por el contrato.
- Convirtiendo, en su caso, el importe obtenido en divisas al cambio aplicable en las fechas de revisión.

9.5. Condiciones de pago

A efectos de pago de los diferentes equipos y servicios objeto del contrato, serán consideradas las partidas siguientes.

- Equipo y materiales entregados en el local de montaje.
- Montaje e instrucción del personal de explotación de la Propiedad

En el contrato figurará una cláusula en la que se indique claramente la forma en que la Propiedad efectuará los pagos del equipo y materiales.

El coste del montaje será abonado totalmente en la fecha de recepción definitiva de las instalaciones, salvo que se especifique otro acuerdo en el contrato.

En el contrato se indicará además el porcentaje sobre el coste total de suministros y servicios prestados por el Adjudicatario, que no se abonarán hasta la terminación del plazo de garantía.

9.6. Penalizaciones

Podrán aplicarse penalizaciones al Adjudicatario, e incluso podrá decidirse la rescisión del contrato en los siguientes casos:

- Si no se respetan las fichas finales o intermedios del programa general de trabajos aprobado.
- Si se retrasa la entrega de documentación técnica.
- Si el equipo, o parte de él, no fuese capaz de asegurar normalmente el servicio industrial para el cual fue concebido y especificado.
- Si los resultados de las medidas y ensayos no correspondieran a los valores garantizados.

Aparte de la posibilidad de rescisión de contrato, el Adjudicatario tomará a su cargo los gastos ocasionados por sus retrasos.

Las penalizaciones o rescisión del contrato a que se ha hecho referencia, serán aplicadas después de comprobar la Propiedad la imposibilidad por parte del Adjudicatario de corregir las faltas o defectos verificados y los desvíos medidos, y después de haber introducido en el plazo autorizado por la Propiedad las modificaciones del equipo y que sin que, entretanto, se produjesen perjuicios directos o indirectos a la Propiedad. La cuantía de las penalizaciones será determinada y calculada en cada caso particular en función del perjuicio causado a la Propiedad.

La Propiedad notificará al Adjudicatario, mediante carta certificada con acuse de recibo, la aplicación de penalizaciones.

9.7. Indemnización a favor del Adjudicatario

Únicamente tendrá derecho el Adjudicatario a una indemnización en su favor en caso de pérdidas, averías y daños imputables a la Propiedad y debidamente comprobados, y eventualmente cuando éstos sean imputables a causa de fuerza mayor.

El Adjudicatario adoptará las disposiciones necesarias, a su cuenta y riesgo, para que su material e instalaciones no puedan sufrir daños o perjuicios como consecuencia de fenómenos naturales previsibles de acuerdo con la situación u orientación de la obra.

En el supuesto de que el Adjudicatario estime que existen causas de fuerza mayor, comunicará por escrito este hecho a la Propiedad en un plazo máximo de diez días después de darse las circunstancias. La Propiedad se reserva el derecho de fijar en cada caso las indemnizaciones que puedan concederse al Adjudicatario y decidir si el motivo por el que reclama la indemnización puede incluirse en lo reseñado en el primer párrafo de este apartado. Pasados diez días, no se admitirá ninguna reclamación procedente del Adjudicatario.

Se considerarán a estos efectos como causas mayores las indicadas en el Pliego de Condiciones Generales para la Contratación de Obras Públicas.

9.8. Rescisión del contrato

En el caso de que la Propiedad ordene el cese absoluto de los trabajos, el contrato queda inmediatamente rescindido. Si la Propiedad ordena su aplazamiento por más de un año, sean antes o después del comienzo de las obras, el Adjudicatario tiene derecho a la rescisión del contrato, si lo solicita por escrito, sin que ello perjudice alguno sobre la indemnización que tanto en un caso como en otro le corresponda, si hay lugar a ello.

No se aceptará la petición de rescisión por parte del Adjudicatario cuando sea presentada en un plazo superior a los cuatro meses a partir de la fecha de notificación de la orden de servicio prescribiendo el cese o aplazamiento de los trabajos.

Si la Propiedad ordena el aplazamiento de los trabajos durante un período menor a un año, el Adjudicatario no tendrá derecho a rescisión, pero sí a una indemnización en caso de perjuicios debidamente constatados. En el caso de que se hubiesen empezado los trabajos, el

Adjudicatario puede requerir que se proceda a la recepción provisional de las obras acabadas y en estado de ser recibidas y, una vez transcurrido el plazo de garantía, a la recepción definitiva.

En caso de fallecimiento del Adjudicatario, el contrato será revocado de pleno derecho, salvo que los herederos se comprometan por escrito a cumplir el contrato en vigor, sin incorporar en él modificación alguna.

En caso de quiebra o suspensión de pagos por parte del Adjudicatario, el contrato queda inmediatamente rescindido de pleno derecho, bastando para ello que la Propiedad lo notifique de forma fehaciente en el plazo de dos meses a partir de la publicación legal de la declaración de quiebra o de la suspensión de pagos.

En todo momento las medidas de conservación o de seguridad cuya urgencia sea manifiesta, serán tomadas de oficio por la Propiedad con cargo al Adjudicatario, sin perjuicio de la decisión definitiva del tribunal.

Cuando el Adjudicatario no dé cumplimiento, sea a las disposiciones u obligaciones del contrato o a las órdenes dadas por la Propiedad, éste se exhortará a cumplir estos requisitos o demandas en un plazo determinado que, salvo en esos casos de urgencia, no será el menor de diez días de la notificación de la intimación. Pasado este plazo, si el Adjudicatario no ha ejecutado las disposiciones prescritas, la Propiedad podrá ordenar, a título personal, el establecimiento de un régimen de intervención general o parcial a cuenta del Adjudicatario.

Se procederá inmediatamente, en presencia del Adjudicatario o habiéndose convocado debidamente, a la comprobación de los trabajos realizados, de los materiales acopiados, así como al inventario descriptivo de su material y a la devolución a éste de la parte de los materiales que no utilizará la Propiedad para la terminación de los trabajos.

La Propiedad tiene, por otra parte, la facultad bien de ordenar la convocatoria de un nuevo concurso, en principio sobre petición de ofertas (por cuenta y riesgo del Adjudicatario insumiso), bien de ejecutar el derecho de rescisión de contrato bien de prescribir la continuación de la intervención.

Durante el período del régimen de intervención, el Adjudicatario podrá conocer la marcha de los trabajos, sin que pueda, de ninguna manera, entorpecer o dificultar las órdenes de la Propiedad.

El Adjudicatario podrá ser liberado del régimen de intervención si justifica su capacidad para volver a hacerse cargo de los trabajos y llevarlos a buen fin.

Los excedentes de gastos que resulten de la intervención o del nuevo contrato, serán deducidos de las sumas que puedan ser debidas al Adjudicatario, sin perjuicio de los derechos a ejercer contra él en caso de ser insuficientes.

Si la intervención o el nuevo contrato suponen, por el contrario, una disminución de gastos, el Adjudicatario no podrá pretender beneficiarse de ninguna parte de la diferencia, que quedará a favor de la Propiedad.

En todos los casos de rescisión se procederá con el Adjudicatario o sus derechohabientes presentes o debidamente convocados, a la comprobación de los trabajos realizados, al inventario de los materiales acopiados, así como al inventario descriptivo de la maquinaria y de la instalación de la obra.

Cuando se dé la rescisión de la obra por otros conceptos que no sean la petición de ésta por parte de la Propiedad, ésta última entidad puede exigir al Adjudicatario que mantenga en obra todo o parte de sus instalaciones generales o de su material, con el fin de poder disponer libremente la prosecución de los trabajos, encargando su ejecución, de estimarlo conveniente, a otra empresa. Las instalaciones, maquinaria, etc., que la Propiedad decida que deben permanecer en obra, podrán ser utilizadas por éstas o por otra empresa de su elección hasta la terminación de las obras objeto del contrato rescindido, sin pago de alguno por parte de la Propiedad o de dicha empresa designada en concepto de alquiler, amortización, etc.

Los materiales existentes de la obra y que la Propiedad decida utilizar en la terminación de las obras, serán abonados según los precios incluidos en el contrato anulado o según los que se fijen en su peritaje.

En los casos de rescisión por decisión de la Propiedad, se acordará entre ésta y el Adjudicatario qué instalaciones deben permanecer en la obra y la indemnización a pagar por la Propiedad en ese concepto.

En ningún caso podrá el Adjudicatario retirar de la obra maquinaria, materiales, instalaciones, etc., sin la autorización por escrito de la Propiedad. En casos de rescisión del contrato, la Propiedad le comunicará, en un plazo de cuatro meses a partir de la fecha de rescisión, las instalaciones, maquinaria, materiales, etc., que deben permanecer en la obra. También le indicará el plazo en que se deben retirar de la obra las instalaciones, maquinaria, materiales, etc., que la Propiedad no vaya a emplear en la terminación de los trabajos.

Debe indicarse que todas las menciones del Adjudicatario realizadas bajo este epígrafe pueden ser sustituidas, de darse el caso, por sus derechohabientes.

9.9. Legislación

Las leyes españolas regularán las fases de concurso y establecimiento del contrato.

El Adjudicatario queda obligado a respetar las disposiciones generales prescritas en la legislación española vigente aplicables a la ejecución del contrato y a acatar las consecuencias de su incumplimiento.

El Adjudicatario y la Propiedad acuerdan someter la resolución de todas las divergencias, controversias y discrepancias que puedan dar lugar la interpretación o la ejecución del contrato de las obras, al juicio arbitral del derecho privado, de acuerdo con las normas establecidas en la Ley del 22 de diciembre de 1983.

El arbitraje será de equidad. Los árbitros resolverán sobre los puntos concretos que se sometan a su decisión en la correspondiente escritura notarial de formalización de compromiso y dentro del plazo que en la misma se señale.

Los honorarios de los árbitros serán sufragados a partes iguales entre el Adjudicatario y la Propiedad. Contra el laudo emitido por los árbitros, con arreglo a su leal saber y entender, únicamente cabrá recurso de nulidad ante la Sala del Tribunal Supremo, por los motivos que se indican en el párrafo 3 del artículo 1696 de la Ley de Enjuiciamiento Civil.

PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES

ÍNDICE

1. Disposiciones generales	42
1.1. Objeto	42
2. Edificación	42
2.1. Condiciones generales	42
2.1.1. Calidad de los materiales	42
2.1.2. Pruebas y ensayos de materiales	42
2.1.3. Materiales no previstos en el proyecto.....	42
2.1.4. Materiales no previstos en el proyecto.....	42
2.1.5. Condiciones generales de ejecución de las obras.....	43
2.2. Condiciones a cumplir por los materiales	43
2.2.1. Materiales para hormigones y morteros	43
2.2.1.1. Áridos	43
2.2.1.2. Agua para amasado	43
2.2.1.3. Aditivos	44
2.2.1.4. Cementos	44
2.2.2. Aceros.....	45
2.2.2.1. Acero de alta adherencia en redondos para armaduras.....	45
2.2.2.2. Acero laminado. Acero A-42B	45
2.2.3. Materiales auxiliares para el hormigón.....	45
2.2.3.1. Productos para el curado del hormigón.....	45
2.2.3.2. Desencofrantes	45
2.2.4. Encofrados y cimbras	46
2.2.4.1. Encofrados en muros	46
2.2.4.2. Encofrados de cimientos, vigas y arcos.....	46
2.2.5. Aglomerantes excluyendo el cemento.....	46
2.2.5.1. Cal hidráulica	46
2.2.5.2. Yeso negro	46
2.2.6. Materiales para fábrica	47
2.2.6.1. Fábrica de ladrillos	47
2.2.7. Pintura	47
2.2.7.1. Pintura al temple	47
2.2.7.2. Pintura plástica.....	48
2.2.8. Colores, aceites y barnices	48

2.2.9.	Fontanería	48
2.3.	Condiciones para la ejecución de las obras.....	48
2.3.1.	Ejecución de las obras	48
2.3.1.1.	Ejecución de las obras	49
2.3.1.2.	Excavación de zanjas y pozos	49
2.3.1.3.	Relleno y apisonado de zanjas y pozos	49
2.3.2.	Hormigón.....	50
2.3.2.2.	Fabricación de hormigón.....	50
2.3.2.3.	Transporte de hormigón	51
2.3.2.4.	Puesta en obra del hormigón	51
2.3.2.5.	Compactación del hormigón	51
2.3.2.6.	Curado del hormigón.....	52
2.3.2.7.	Juntas de hormigonado.....	52
2.3.2.8.	Terminación de las superficies	52
2.3.2.8.	Limitaciones de ejecución	52
2.3.2.9.	Medición y abono.....	53
2.3.3.	Morteros.....	53
2.3.3.1.	Fabricación de morteros	53
2.3.3.2.	Medición y abono.....	53
2.3.4.	Encofrados.....	53
2.3.5.	Armaduras	54
2.3.6.	Armaduras	54
2.3.6.8.	Ladrillos	54
2.3.6.9.	Enfoscados de cemento	55
2.3.7.	Carpintería metálica	55
2.3.8.	Pintura	56
2.4.	Control de la obra.....	56
2.4.1.	Componentes del hormigón.....	57
2.4.2.	Hormigón.....	57
2.4.3.	Armaduras	57
2.4.4.	Formas y disposición	57
2.4.5.	Ensayos informativos	57
2.5.	Instrucción del hormigón estructural.....	57
2.5.1.	Cemento	57
2.5.2.	Agua de amasado	58
2.5.3.	Áridos	58

2.6.	Condiciones de protección contra incendios en los edificios	58
2.6.1.	Condiciones técnicas exigibles a los materiales	58
2.6.2.	Condiciones técnicas exigibles a los elementos constructivos	58
3.	Instalación eléctrica	59
3.1.	Generalidades	59
3.2.	Identificación	59
3.3.	Conductores	60
3.4.	Terminales	60
3.5.	Instalación de aparatos	60
3.6.	Cuadros de distribución	61
3.7.	Instalaciones de fuerza y alumbrado	61
3.8.	Equilibrio de fases	61
3.9.	Acometida General.....	61
3.10.	Caja de protección.....	61
3.11.	Línea de reparto	62
3.12.	Contadores	62
3.13.	Derivaciones individuales.....	62
3.14.	Instalación	62
3.15.	Instalación de puesta a tierra.....	62
3.16.	Inspecciones, pruebas y recepciones.....	62
4.	Instalaciones mecánicas.....	63
4.1.	Generalidades	63
4.2.	Materiales	64
4.2.1.	Accesorios	64
4.2.2.	Soportes	65
4.2.3.	Recipientes a presión	65
4.3.	Condiciones de ejecución.....	65
4.3.1.	Tuberías y accesorios	65
4.3.1.1.	Uniones	65
4.3.1.2.	Interferencias de trazado	66
4.3.1.3.	Curvado	66
4.3.1.4.	Soldadura	66
4.3.1.5.	Pruebas de estanqueidad y presión	68
4.3.2.	Soportes y estructuras	69
4.3.2.1.	Diseño de materiales y fabricación	69
4.3.2.2.	Uniones soldadas	69

4.4.	Pinturas y aislamiento	70
4.4.1.	Tuberías	70
4.4.2.	Soportes	71
4.5.	Control de calidad, inspección y pruebas.....	71
4.5.1.	Requisitos generales	71
4.5.2.	Pruebas y ensayos en tuberías	71
4.5.2.1.	Ensayos no destructivos	71
4.5.3.	Pruebas hidrostáticas	73
4.5.3.1.	Inspección y prueba en soporte	73
4.5.3.2.	Reparación de soldaduras	75
5.	Documentación.....	75
6.	Equipos de la planta industrial	76
6.1.	Lista de equipos.....	76
6.2.	Fichas de especificación de los equipos	77
6.2.1.	Evaporador E-101	77
6.2.2.	Evaporador E-102	78
6.2.3.	Compresor K-101.....	79
6.2.4.	Compresor K-102.....	79
6.2.5.	Tanque de mezcla V-101	79
6.2.6.	Reactor R-201	80
6.2.7.	Condensador E-301	81
6.2.8.	Tanque de homogenización V-301.....	82
6.2.9.	Intercambiador de calor E-302.....	¡Error! Marcador no definido.
6.2.10.	Columna de destilación T-301.....	83
6.2.11.	Condensador E-302	83
6.2.12.	Evaporador E-303	84
6.2.13.	Compresor K-401.....	85
6.2.1.	Intercambiador de calor E-401.....	85

1. Disposiciones generales

1.1. Objeto

El presente pliego de prescripciones técnicas tiene por objeto la ordenación de las condiciones técnico-facultativas que deben regir en la instalación de la planta industrial descrita en este proyecto.

Las obras del proyecto consisten en la instalación de los equipos necesarios en una planta de producción de γ -butirolactona a partir de la reacción combinada de anhídrido maleico y 1,4-butanodiol. En lo referente a la definición y acabo de las distintas unidades de obra, se deberá considerar que todos los trabajos, medios auxiliares y materiales que sean necesarios para la correcta ejecución y finalización de cualquier unidad de obra, según el criterio del Director de Obra, se consideran ya incluidos en el precio de la misma, aun cuando no figuren especificados en la descomposición o descripción de los precios.

2. Edificación

2.1. Condiciones generales

2.1.1. Calidad de los materiales

Todos los materiales a emplear en la presente obra deberán ser de primera calidad, y deben reunir las condiciones exigidas vigentes referentes a materiales y prototipos de construcción.

2.1.2. Pruebas y ensayos de materiales

Todos los materiales a los que se hace referencia en este Pliego podrán ser sometidos a los análisis y pruebas que se crean necesarios para acreditar su calidad. Cualquier otro material que sea necesario emplear deberá ser aprobado por la Dirección de las Obras, siendo rechazado en el caso de no reunir las condiciones exigidas por la buena práctica de la construcción.

2.1.3. Materiales no previstos en el proyecto

Los materiales que no hayan sido previstos en el proyecto reunirán las condiciones de calidad necesarias, a juicio de la Dirección de Obra, no teniendo el Adjudicatario derecho a reclamación alguna por las condiciones exigidas.

2.1.4. Materiales no previstos en el proyecto

Los materiales que no hayan sido previstos en el proyecto reunirán las condiciones de calidad necesarias, a juicio de la Dirección de Obra, no teniendo el Adjudicatario derecho a reclamación alguna por las condiciones exigidas.

2.1.5. Condiciones generales de ejecución de las obras

Todos los trabajos incluidos en el presente proyecto se realizarán con esmero, con arreglo a las buenas prácticas de construcción, de acuerdo a las condiciones establecidas en el Pliego de Condiciones de la Dirección General de Arquitectura de 1960, y cumpliendo estrictamente las instrucciones recibidas por la Dirección de la Obra, no sirviendo, por tanto, como pretexto al Adjudicatario la baja puja, para cambiar la ejecución de las obras, la primera calidad de los materiales ni de la mano de obra ni emprender proyectos adicionales a los que tiene por objeto este documento.

2.2. Condiciones a cumplir por los materiales

2.2.1. Materiales para hormigones y morteros

2.2.1.1. Áridos

La naturaleza de los áridos y su preparación será aquella que garantice la adecuada resistencia del hormigón, así como las restantes características que se exijan a éste en el presente Pliego de Condiciones Particulares.

Como áridos para la fabricación de hormigón, pueden emplearse arena o grava existente en yacimientos naturales, u otros productos cuyo empleo se encuentre aceptado por la práctica o resulte aconsejable como consecuencia de estudios realizados en un laboratorio oficial. En cualquier caso, cumplirá las condiciones de la EHE (Instrucción de Hormigón Estructural).

Cuando no se tengan antecedentes sobre la utilización de los áridos disponibles, o se vayan a utilizar para otras aplicaciones distintas de las aceptadas por la práctica, se realizarán ensayos de identificación mediante análisis mineralógicos, petrográficos, físicos o químicos, según convenga en cada caso.

En el caso de hacer uso de escorias siderúrgicas como árido, se comprobará previamente que son estables, es decir, que no contienen silicatos inestables ni compuestos ferrosos. Esta comprobación se efectúa con arreglo al método de ensayo UNE-7243.

Queda prohibido el uso de áridos que contengan sulfuros oxidables. Se entiende por arena o árido fino al árido o fracción del mismo que pasa por un tamiz de 5 mm de luz de malla. Por grava o árido grueso se entiende el que queda retenido en dicho tamiz. Finalmente, por árido total (o simplemente árido cuando no hay lugar a confusión), es aquel que posee las proporciones de arena y grava adecuadas para fabricar el hormigón necesario en el caso particular que se considere.

2.2.1.2. Agua para amasado

Deberá cumplir las siguientes condiciones:

- Acidez tal que el pH sea mayor que 5, según la norma UNE-7234.

- Sustancias solubles en menor cantidad a 15 g/L, según la norma UNE-7130.
- Sulfatos expresados en SO_4 en menor cantidad a 1 g/L, según ensayo de la norma UNE-7131.
- Ion cloro para hormigón con armaduras en menor cantidad a 6 g/L según la norma UNE-71178.
- Grasas o aceites de cualquier clase en menor cantidad a 15 g/L según la norma UNE-7235.
- Carencia absoluta de azúcares o carbohidratos según el ensayo de la norma UNE-7132.
- Demás prescripciones de la EHE.

2.2.1.3. Aditivos

Se definen como aditivos a emplear en hormigones y morteros a aquellos productos, sólidos o líquidos, excepto cemento, áridos y agua, que mezclados durante el amasado mejoran las características del mortero o del hormigón, en especial en lo referente al fraguado, endurecimiento y plasticidad.

Se establecen los siguientes límites:

- Si se emplea cloruro cálcico como acelerador, su dosificación será igual o menor a 2% en peso del cemento, y si se trata de amasar con temperaturas muy bajas, de 3,5% en peso de cemento.
- La proporción de aireante será mayor de 4% en peso de cemento.
- En el caso de emplear colorantes, la proporción será inferior a 10% en peso de cemento. No se emplearán colorantes orgánicos.
- Cualquier otro que se derive de la aplicación de la EHE.

2.2.1.4. Cementos

Se entiende como un aglomerante hidráulico el que responde a alguna de las definiciones del Pliego de Prescripciones Técnicas General para la recepción de cementos del Real Decreto vigente.

Podrá ser almacenado en sacos o a granel. En el primer caso, el recipiente protegerá al cemento contra la intemperie y la humedad, tanto del suelo como de las paredes. Si se almacena a granel, no podrán mezclarse cementos de distintas calidades y procedencias.

Se exigirá al Adjudicatario la realización de ensayos que demuestren de modo satisfactorio que los cementos cumplen las condiciones exigidas. Las partidas de cemento defectuoso serán retiradas de la obra en un plazo máximo de ocho días. Los métodos de ensayo serán los

detallados en el citado Pliego de Condiciones General para la recepción de conglomerantes hidráulicos. Se realizarán en laboratorios homologados.

Se tendrán en cuenta prioritariamente las determinaciones de la instrucción EHE.

2.2.2. Aceros

2.2.2.1. Acero de alta adherencia en redondos para armaduras

Se aceptarán aceros de alta adherencia que lleven el sello de conformidad CIETSID, homologado por el Ministerio de Fomento.

Estos aceros vendrán marcados de fábrica con señales indelebles para evitar confusiones en su empleo. No presentarán grietas, curvaturas, sopladuras, ni disminuciones de sección superiores a un 5%.

El módulo de elasticidad será igual o mayor a 2.100.000 kg/cm². Se entiende por límite elástico la mínima tensión capaz de producir una deformación permanente de dos décimas porcentuales (0,2%). Se prevé el límite elástico del acero en 4.200 kg/cm². Esta tensión es el valor de la ordenada máxima en el diagrama de tensión-deformación. Se tendrán prioritariamente en cuenta las determinaciones de la instrucción EHE.

2.2.2.2. Acero laminado. Acero A-42B

Los perfiles vendrán con su correspondiente identificación de fábrica, con señales indelebles para evitar confusiones. No presentarán grietas, curvaturas, sopladuras, ni disminuciones de sección superiores al 5%.

2.2.3. Materiales auxiliares para el hormigón

2.2.3.1. Productos para el curado del hormigón

Se definen como productos para el curado de hormigones hidráulicos los que, aplicado en forma de pintura pulverizada, depositan una fina película impermeable sobre la superficie del hormigón para impedir la pérdida de agua por evaporación.

El color de la capa protectora será claro, preferiblemente blanco, para evitar la absorción de radiación solar. Esta capa deberá ser capaz de permanecer intacta durante siete días por lo menos después de una aplicación.

2.2.3.2. Desencofrantes

Los Desencofrantes se definen como los productos que, aplicados en forma de pintura a los encofrados, disminuyen la adherencia entre éstos y el hormigón, la labor de desmolde. El empleo de estos productos deberá ser expresamente autorizado por la Dirección de Obra.

2.2.4. Encofrados y cimbras

2.2.4.1. Encofrados en muros

Podrán ser de madera o metálicos, pero tendrán la suficiente rigidez, latiguillos y puntales para que la deformación máxima producida al empuje del hormigón fresco sea inferior a un centímetro respecto a la superficie teórica de acabado. Para medir estas deformaciones, se aplicará sobre la superficie desencofrada una regla metálica de 2 metros de longitud, en la que se comprobará la posible curvatura existente.

2.2.4.2. Encofrados de cimientos, vigas y arcos

Podrán ser de madera o metálicos, pero cumplirán la condición de que la deformación máxima de un borde encofrado respecto a la teórica, sea menor o igual a un centímetro de longitud teórica. Igualmente, el encofrado deberá tener la suficiente rigidez para soportar los efectos dinámicos de la vibración del hormigón de forma que el máximo movimiento local producido por esta causa sea de cinco milímetros.

2.2.5. Aglomerantes excluyendo el cemento

2.2.5.1. Cal hidráulica

Cumplirá las siguientes condiciones:

- Peso específico comprendido entre 2,5 y 2,8.
- Densidad aparente superior a 0,8.
- Pérdida de peso por calcinación menor a 12%.
- Fraguado entre 9 y 30 horas.
- Residuo en tamiz de 4.900 mallas menor del 6%.
- Resistencia a la tracción de pasta pura a los siete días superior a los 8 kg/cm².
- Resistencia a la tracción del mortero normal a los 7 días superior a 4 kg/cm².
- Resistencia a la tracción de pasta pura a los 28 días superior a los 8 kg/cm², y superior en 2 kg/cm² al alcanzado al séptimo día.

2.2.5.2. Yeso negro

Deberá cumplir las siguientes condiciones:

- Contenido mínimo en sulfato de calcio semihidratado del 50% en peso.

- El fraguado no comenzará antes de 2 minutos y no terminará antes de 30 minutos.
- En tamiz de 0,2 mm (UNE-7050), el residuo no será mayor del 20%.
- En tamiz de 0,08 mm (UNE-7050), el residuo no será mayor del 50%.
- Las probetas prismáticas (4 – 4 – 16 cm) de pasta normal ensayadas a flexión con una separación de apoyos de 10,67 cm, resistirán una carga central de 120 kg como mínimo.
- La resistencia a compresión determinada sobre medias probetas procedentes del ensayo a flexión, será como mínimo de 75 kg/cm².

2.2.6. Materiales para fábrica

2.2.6.1. Fábrica de ladrillos

Los ladrillos serán de primera calidad según lo definido en el Código Técnico de la Edificación. Las dimensiones de los ladrillos se medirán de acuerdo con la norma UNE-7267. La resistencia a compresión de los ladrillos será como mínimo de:

- Ladrillos macizos: 75 kg/cm².
- Ladrillos perforados: 100 kg/cm².
- Ladrillos huecos: 50 kg/cm².

2.2.7. Pintura

2.2.7.1. Pintura al temple

Estará compuesta por una cola disuelta en agua y un pigmento mineral finamente disperso con la adición de un antifermento tipo formol para evitar la putrefacción de la cola. Los pigmentos a usar pueden ser:

- Blanco de zinc que cumplirá UNE-48041.
- Litopón que cumplirá UNE-48040.
- Dióxido de titanio tipo anatasa que cumplirá UNE-48044.

También podrán emplearse mezclas de estos pigmentos con carbonato cálcico y sulfato básico. Estos dos últimos productos considerados como cargas no podrán entrar en una proporción mayor del 25% en peso de pigmento.

2.2.7.2. Pintura plástica

Como vehículo para el pintado, se emplea un barniz, donde los pigmentos están constituidos de dióxido de titanio y colores resistentes.

2.2.8. Colores, aceites y barnices

Todas las sustancias de uso general en la pintura deberán ser de excelente calidad. Los colores reunirán las siguientes condiciones:

- Facilidad para extenderse y cubrir perfectamente grandes superficies.
- Gran capacidad de fijación.
- Ser inalterables a la acción de los aceites o de otros colores.
- Insolubilidad en agua.

Los aceites y barnices reunirán, a su vez, las siguientes características:

- Ser inalterables por la acción del aire.
- Conservar los colores.
- Transparencia y color perfectos.

Los colores deberán estar bien molidos y mezclados con el aceite. Además, estarán bien mezclados y sin grumos.

2.2.9. Fontanería

Las bajantes, tanto de aguas pluviales como fecales, serán de fibrocemento o materiales plásticos que dispongan de autorización de uso. No se admitirán bajantes de diámetro inferior a 12 centímetros.

Todas las uniones y piezas especiales se realizarán mediante uniones Gibault.

2.3. Condiciones para la ejecución de las obras

2.3.1. Ejecución de las obras

Consiste en el conjunto de operaciones realizadas para excavar, evacuar, llenar y nivelar el terreno, así como las zonas circundantes que puedan necesitarse, con el consecuente transporte de los materiales hasta el punto de vertido o hasta el lugar donde sean necesario.

2.3.1.1. Ejecución de las obras

Una vez terminadas las operaciones de preparación del terreno, se iniciarán las obras de excavación ajustándose a las indicaciones contenidas en los planos, tales como pendientes, dimensiones, alineaciones, etc.

La tierra vegetal que se encuentre en las excavaciones, que no se extrajo durante el clareo inicial del terreno, podrá ser empleada posteriormente en la protección de superficies que puedan sufrir erosión.

En cualquier caso, la tierra vegetal excavada se mantendrá excavada separada del resto de los materiales extraídos.

Todos los materiales que se obtengan en la excavación, excepto la tierra vegetal citada, podrán ser empleados en la formación de rellenos o en cualquier otro uso contemplado dentro de este Pliego. Se transportarán una vez extraídos a las zonas destinadas para su depósito dentro del solar, o bien al vertedero si no tuviesen aplicación dentro de la obra.

Durante las diversas etapas de movimiento de tierras, las obras se mantendrán en perfectas condiciones de drenaje. El material excavado no se podrá colocar de forma que suponga un peligro para las construcciones existentes, por presión directa o por sobrecarga de los rellenos contiguos.

2.3.1.2. Excavación de zanjas y pozos

Consiste en el conjunto de operaciones necesarias para conseguir la cimentación adecuada del terreno, sobre el que se situarán los equipos y la estructura. Su ejecución comprende las operaciones de excavación, nivelación y evacuación del terreno y el transporte de los materiales hasta su depósito o lugar de empleo.

El Adjudicatario deberá notificar con la antelación suficiente el comienzo de cualquier excavación, con el objeto de que se puedan efectuar las mediciones necesarias sobre el terreno inalterado. El terreno natural adyacente al de excavación no se modificará sin autorización.

La excavación continuará hasta llegar a la profundidad en la que aparezca una superficie firme. La Dirección de la Obra puede solicitar modificar la profundidad de excavación de excavación si a la vista de las condiciones del terreno, se considere necesario para lograr una cimentación satisfactoria.

Las corrientes o aguas pluviales o subterráneas que pudieran presentarse, se taponarán o desviarán empleando el método más adecuado. Antes de proceder al vertido del hormigón y a la colocación de las armaduras, se dispondrá una capa de hormigón de 10 cm de espesor debidamente nivelada.

El abono de estas excavaciones se hará en función de los metros cúbicos extraídos, calculados por diferencia de los datos iniciales y finales.

2.3.1.3. Relleno y apisonado de zanjas y pozos

Este apartado trata el vertido y posterior compactación de los materiales empleados para el relleno de las zanjas o pozos formados.

Los materiales de relleno se disponen sobre la superficie en tongadas sucesivas de espesor uniforme. El espesor de estas tongadas será el adecuado a los medios disponibles para que se obtenga el grado de compactación exigido.

La superficie de las tongadas será horizontal o convexa con pendiente transversal máxima de 2%. Una vez extendida la tongada, se procederá a la humidificación si se considera necesario.

El contenido óptimo de humedad se determinará en la propia obra, a la vista de maquinaria disponible y de los resultados que se obtengan en los ensayos pertinentes.

En casos especiales, donde la humedad natural del material sea excesiva para conseguir la compactación prevista, se tomarán las medidas adecuadas como, por ejemplo, la adición de una mezcla de materiales secos o sustancias apropiadas como la cal. Una vez lograda la humedad requerida, se procede a la compactación mecánica de la tongada. Sobre las capas formadas, se prohíbe la circulación de todo tipo de tráfico hasta que se completa la compactación.

Al igual que en casos anteriores, el abono de estas operaciones se hará de acuerdo a los metros cúbicos de material que se depositen.

2.3.2. Hormigón

Corresponde al Adjudicatario efectuar el estudio granulométrico de los áridos, dosificación del agua y consistencia del hormigón de acuerdo con los medios de puesta en obra que se emplee en cada caso, siempre cumpliendo lo prescrito en la EHE.

2.3.2.2. Fabricación de hormigón

En la fabricación y puesta en obra del hormigón, deberán cumplirse los requisitos generales marcados en la EHE, del Ministerio de Fomento.

Los áridos, el agua y el cemento deberán dosificarse automáticamente en peso. Las instalaciones de dosificación, al igual que las demás necesarias en la fabricación y puesta en obra, deberán ser sometidas a dicha instrucción.

Las tolerancias admisibles en la dosificación serán de 2% para el agua, cemento y áridos. La consistencia del hormigón admitirá una tolerancia de 20 milímetros medidos en el cono de Abrams.

La instalación de hormigonado será capaz de realizar una mezcla regular e íntima de todos los componentes proporcionando un hormigón de color y consistencia uniforme. En la hormigonera deberá existir una placa en la que se haga constar la capacidad y la velocidad en revoluciones por minuto recomendadas por el fabricante, las cuales no deberán ser superadas.

Antes de introducir el cemento y los áridos en el mezclador, éste se cargará con una parte de la cantidad del agua requerida, completándose la dosificación de ésta en un período de tiempo que no deberá ser superior a la tercera parte del tiempo de mezclado, contados a partir del momento en que el cemento y los áridos se introducen en el mezclador. Antes de volver a cargar el equipo, se vaciará totalmente su contenido.

No se permitirá volver a amasar, en ningún caso, hormigón que fraguase parcialmente, aunque se añadan nuevas cantidades de cemento, áridos o agua.

La mezcla en obra del hormigón se efectuará del mismo modo que la señalada para la realizada en fábrica.

2.3.2.3. Transporte de hormigón

El transporte de hormigón desde el lugar de preparación hasta la obra se realizará lo más rápidamente posible. En ningún caso se tolerará la utilización en obra de hormigón que acuse un principio de fraguado o cualquier otra alteración.

Cuando la fabricación de la mezcla se realiza en una industrial alejada, el transporte deberá hacerse empleando camiones provistos de agitadores.

2.3.2.4. Puesta en obra del hormigón

Como norma general, no deberá transcurrir más de una hora entre la fabricación del hormigón y su puesta en obra y compactación.

No se permitirá el vertido libre del hormigón desde alturas superiores a un metro, quedando prohibido arrojarlo a gran distancia, distribuirlo con rastrillo o hacerlo avanzar más de medio metro en los encofrados.

Al verter hormigón se debe remover eficazmente para asegurar que las armaduras queden perfectamente envueltas, cuidando especialmente los sitios en los que se reúne gran cantidad de acero, y procurando que se mantengan los recubrimientos y la separación entre las armaduras.

En láminas, el extendido del hormigón se ejecutará de modo que el avance se realice en todo su espesor. En vigas, el hormigón a todo se realiza avanzando desde los extremos, rellenando las en toda su altura y procurando que no se produzcan segregaciones.

2.3.2.5. Compactación del hormigón

La compactación del hormigón deberá realizarse por liberación. Los vibradores se aplicarán siempre de modo que su efecto se extienda a toda la masa, sin que se produzcan segregaciones. Si se emplean vibradores internos, deberán sumergirse longitudinalmente en la tongada subyacente, y retirarse también longitudinalmente sin desplazarlo hacia los lados mientras están dentro de la mezcla.

La aguja se introducirá y retirará lentamente, a velocidad constante, recomendándose que no se superen los 10 cm/s, con cuidado de que la aguja no toque las armaduras.

La distancia entre los puntos sucesivos de inmersión no será superior a 75 cm, y será la adecuada para generar en toda la superficie de la masa una bomba estación brillante, siendo preferible vibrar en pocos puntos prolongadamente.

No se colocará un vibrador a menos de 10 cm de la pared del encofrado.

2.3.2.6. Curado del hormigón

Durante el primer periodo de endurecimiento, se someterá al hormigón a un proceso de curado según el tipo de cemento empleado y las condiciones climatológicas del lugar.

En cualquier caso, deberá mantenerse la humedad del hormigón y evitarse todas las causas tanto externas, como sobrecarga o vibraciones, que puedan provocar la fisura del elemento hormigonado. Se deben mantener húmedas las estrellas de paja u otros tejidos similares, mediante arpilleras, durante tres días si el conglomerado empleado fuese cemento Portland 1-35, aumentándose este plazo en caso de que el cemento usado tuviese un endurecimiento más lento.

2.3.2.7. Juntas de hormigonado

Las juntas podrán ser de hormigonado, contracción o dilatación, debiendo cumplirse lo especificado los planos.

Se tendrá en cuenta que las juntas creadas por las interrupciones en el hormigonado queden normales a la dirección de los máximos esfuerzos de compresión, o donde sus efectos sean menos perjudiciales.

Cuando se teman efectos debidos a retracción, se dejarán juntas abiertas durante algún tiempo, para que las masas contiguas puedan deformarse libremente. El ancho de tales juntas deberá ser el necesario para que, en su día, puedan hormigonarse correctamente.

Al retomarse los trabajos, se limpiará toda la junta de sociedad o árido que quedase suelto, y se humedecerá toda la superficie sin excesos de agua, vertiéndose a continuación una lechada de cemento antes de aplicar hormigón.

2.3.2.8. Terminación de las superficies

Si no se indica lo contrario, la máxima irregularidad que puedan presentar las superficies planas, medida respecto a una regla de dos metros de longitud aplicada en cualquier dirección será la siguiente:

- Superficies a la vista: 6 mm.
- Superficies ocultas: 25 mm.

2.3.2.8. Limitaciones de ejecución

El hormigonado se suspenderá, por norma general, en caso de lluvias, adaptándose las medidas necesarias para impedir la entrada de lluvia en las masas de hormigón fresco o el lavado de superficies. Si esto sucediese, se deberá picar la superficie, humedecerlas, y continuar el hormigonado después de aplicar una lechada de cemento.

2.3.2.9. Medición y abono

El hormigón se medirá y abonará en base al metro cúbico realmente vertido en obra, midiendo el volumen contenido entre las caras de las superficies.

En las obras de cimentación que no necesiten encofrado, se medirá este entre las caras del terreno excavado. En el caso de que el Cuadro de Precios exprese la unidad de hormigón sobre metro cuadrado, como es el caso de los techos, forjados, etc., se medirá esta cantidad en base a los metros cuadrados realmente ejecutados, incluyéndose en la medición todas las desigualdades y aumentos de espesor debidos a los cambios de la capa inferior. Si en el Cuadro de Precios se indicase que esté incluido el encofrado, acero, etc., siempre se considerará la misma medición del hormigón por metro cuadrado o metro cúbico. En el precio van siempre incluidos los servicios y costes asociados al curado del hormigón.

2.3.3. Morteros

Se fabricarán los tipos de mortero especificados en las unidades de obra, indicándose cuál ha de emplearse en cada caso para la correcta ejecución de las obras.

2.3.3.1. Fabricación de morteros

Los morteros se fabricarán en seco, continuando se la mezcla después de verter agua en la forma y cantidad fijada, hasta obtener una pasta de aspecto homogéneo, y color y consistencia uniforme.

2.3.3.2. Medición y abono

El mortero es un material auxiliar y, por tanto, su medición va incluida en las unidades a las que sirve: fábrica de ladrillos, pavimentos, etc. En algún caso especial se puede medir la cantidad empleada en metros cúbicos, obteniéndose su precio del correspondiente Cuadro.

2.3.4. Encofrados

Tanto las unidades como las piezas que constituyen los encofrados, deberán tener la resistencia y rigidez necesarias para que, en la marcha prevista del hormigonado, y especialmente bajo los efectos dinámicos producidos por el sistema de compactación exigido, no se originen esfuerzos anormales en el hormigón, ni durante su puesta en obra, ni durante su periodo de endurecimiento.

No deben permitir los movimientos locales superiores a 5 mm.

Las uniones de los distintos elementos o planos de los moldes serán sólidas y sencillas, de modo que su montaje se haga con rapidez.

Los moldes ya usados, y que vayan a servir en posteriores operaciones, serán cuidadosamente limpiados y revisados.

Los encofrados de madera se humedecerán antes del hormigonado, con el fin de evitar la absorción del agua contenida en el hormigón, y se limpiarán especialmente los fondos dejándose aberturas provisionales para facilitar esta labor.

Las juntas entre las distintas tablas del encofrado, deberán permitir el hinchamiento de las mismas por la humedad del hormigón. Sin embargo, no se permitirá la salida de la mezcla durante el hormigonado a través de las juntas.

Los encofrados se medirán siempre por metro cuadrado de superficie en contacto con el hormigón, no siendo de abono las obras o esos de encofrado, así como los elementos auxiliares de sujeción o apoyos necesarios para mantenerlo en una posición correcta y segura contra los esfuerzos del viento, etc.

En este precio se incluyen, además, los desencofrantes y las operaciones de desencofrado y retirada del material.

En el caso de que en el Cuadro de Precios esté incluido el encofrado en el precio del hormigón, se entiende que todos los elementos y operaciones incluidas en este concepto se incluyen en el precio de éste.

2.3.5. Armaduras

Todas las operaciones se efectuarán de acuerdo a los artículos de la EHE.

Las armaduras de acero empleadas en el hormigón armado, se abonarán en kilogramos realmente empleados, deducidos de los planos de ejecución, por medición de longitudes, añadiendo las medidas de los solapes de empalme, medidos en obra, aplicando los pesos unitarios correspondientes a los distintos elementos usados.

En ningún caso se abonará más del 5% en peso, bajo el concepto de solapes, del peso medido en plano de toda la armadura.

El precio incluye la adquisición, los transportes de cualquier clase hasta el terreno, la pesada, la limpieza de armaduras y, si es necesario, el doblado de las mismas, su izado, sustentación y colocación en obra, incluyendo el alambre usado para ataduras y separadores, la pérdida por recortes, y cuantas operaciones y medios auxiliares sean necesarios.

2.3.6. Armaduras

2.3.6.8. Ladrillos

Los ladrillos se colocarán según los elementos presentados en el proyecto.

Antes de emplearlos, se humedecerán con agua, debiendo estar sumergidos en agua por lo menos 10 minutos. Salvo especificaciones adicionales, el tendel debe tener un espesor de 10 mm. Todas las hiladas deben quedar perfectamente horizontales y con la cara buena perfectamente plana, vertical y a ras con el resto de elementos con los que debe coincidir. Para esto, se hará uso de las miras necesarias, colocando la cuerda en las divisiones o marcas hechas en las miras.

Salvo indicación adicional, se empleará un mortero de 250 kg de cemento I-35 por metro cúbico de pasta.

Al interrumpir el trabajo, deberá quedar preparado para el día siguiente. Al retomar el trabajo, deberá humedecerse y picarse la superficie del mortero.

Los elementos en ángulo se harán de manera que sea medio ladrillo de un muro contiguo, alternándose las filas. La medición para el abono de estos trabajos se hará por metro cuadrado, según expresa el Cuadro de Precios. Se descontarán los huecos de las superficies.

2.3.6.9. Enfoscados de cemento

Los enfoscados de cemento se harán con cemento de 550 kg por m^3 de pasta, en superficies exteriores, y de 500 kg por m^3 en interiores, empleándose arena de río o barranco lavada para su fabricación.

En todo caso, se limpiará bien la superficie de polvo, y se lavará debiendo estar húmeda antes de extender el mortero. La superficie debe estar en su interior perfectamente seca.

Se el material a cubrir es hormigón, éste se picará y mojará previamente.

Preparada de este modo la superficie, se aplicará con fuerza el mortero sobre una parte de esta, evitando agregar mortero sobre otra sección ya tratada.

Así, se extenderá una capa que debe ser uniforme a lo largo de toda la superficie.

Sobre esta primera capa aplicada, se extiende una segunda más suave para conseguir una elevada homogeneidad de todo el conjunto. Al comenzar una nueva operación de enfoscado, es necesario que la circundante haya fraguado convenientemente. Sin embargo, sí es conveniente humedecer las juntas para lograr una mayor uniformidad.

El acabado de los enfoscados debe quedar áspero para facilitar la adherencia de capas posteriores.

Si las condiciones de temperatura y humedad lo requieren, a juicio de la Dirección de Obra, se humedecerán diariamente los enfoscados, bien durante la ejecución o bien después de terminada, para que el fraguado se complete en buenas condiciones.

2.3.7. Carpintería metálica

Todas las piezas de carpintería metálica deberán ser montadas, necesariamente, por la casa fabricante o por el personal autorizado por la misma, siendo el suministrador el responsable del perfecto funcionamiento de todas y cada una de las piezas colocadas en la obra.

Todos los elementos se montarán en locales cerrados y desprovistos de humedad, asentados sobre piezas de madera, procurando que queden bien nivelados y que no haya ninguno que sufra de alabeo o torcedura alguna.

La medición se hará por metro cuadrado de carpintería, medidos entre lados exteriores.

2.3.8. Pintura

La superficie que se vaya a pintar debe estar seca, desengrasada, sin óxido ni polvo, para lo que se emplearán cepillos, chorreado con arena, ácidos y bases según convenga.

Los poros, grietas, etc., Se rellenarán con masilla que deje la superficie lisa y uniforme. Se harán con un pigmento mineral y aceite de linaza, o barniz, y un cuerpo de relleno para las maderas. En los paneles, se empleará yeso amasado con agua de cola, y sobre los metales se utilizará rellenos compuestos del 60-70% de pigmento. Los elementos sólidos como la masilla se aplicarán con espátula, mientras que los líquidos se podrán emplear con brocha o pincel, o con pistola de aire comprimido. Los rellenos, una vez secos, serán fijados para conseguir un acabado homogéneo.

Las pinturas se pueden aplicar con brocha o pincel, con aerógrafo, con pistola (pulverizando con aire comprimido) o con rodillos.

Las brochas y pinceles serán de pelo animal, pudiendo ser planos o redondos según sea conveniente. También pueden usarse hechos de nailon.

Los aerógrafos o pistolas constan de un recipiente que contiene pintura con aire a presión (1-6 atm), un compresor y un pulverizador, cuyo orificio de salida varía desde los 0,2 hasta los 7 mm, formándose un cono aproximado de 2 cm de diámetro máximo.

La pintura se mide y abona, en general, por metro cuadrado de superficie pintada, efectuándose la medición del siguiente modo:

- La pintura sobre muros, tabiques y techos, descontando los huecos.
- Las molduras se miden por la superficie cubierta.
- La pintura sobre carpintería metálica se medirá por las dos caras, incluyéndose los tapajuntas.
- La pintura sobre las ventanas metálicas, sólo tomándose una cara.

En los respectivos precios se incluye el costo de los materiales y las operaciones necesarias para conseguir un perfecto acabado, incluyendo la preparación, lijado, relleno, etc., y todos los medios auxiliares que sean precisos.

2.4. Control de la obra

Los ensayos que se realicen se harán a cuenta del Adjudicatario, a través de una empresa especializada.

En la obra se dispondrá, para la realización del control, de cinta métrica, regla, nivel, plomada, termómetro, cono de Abrams, siete moldes de probetas con chapa y retacador.

La toma de muestras, conservación y rotura, se harán de acuerdo a lo delimitado en las normas UNE-8330084, UNE-8330184 y UNE-8330484.

2.4.1. Componentes del hormigón

Se seguirá lo dispuesto en el artículo 63 de la EHE.

2.4.2. Hormigón

Se realizarán los ensayos previos y característicos que indica la norma EHE.

Los ensayos de control se realizarán en la modalidad de control estadístico a escala normal. La definición de las partes de la obra se realizará de acuerdo con la Dirección de Obra, a la vista de la planificación del hormigonado, ajustándose en todo momento lo especificado en el artículo 69 de la EHE.

2.4.3. Armaduras

Se realizará el control a nivel normal.

2.4.4. Formas y disposición

No se realizará el hormigonado sin la previa autorización de la Dirección de Obra, comprobándose la disposición y diámetro de las armaduras, formas geométricas, estados de las superficies contra las que se hormigonará, etc.

2.4.5. Ensayos informativos

La Dirección de Obra se reserva el derecho a exigir al Adjudicatario, cuando se estime oportuno, ensayos informativos.

2.5. Instrucción del hormigón estructural

2.5.1. Cemento

Antes de empezar con el hormigonado donde se varían las condiciones de aplicación, se ensayarán pruebas físicas, mecánicas y químicas previstas en el Pliego de Prescripciones Técnicas para la recepción de cementos.

Cuando cemento esté en posesión de un sello o marca de conformidad oficial, no se realizarán dichos ensayos.

Cuando el cemento carezca de este sello, se comprobará por lo menos una vez cada tres meses de obra, como mínimo en tres ocasiones, y cuando le indique la Dirección, lo siguiente: pérdida de agua, residuo insoluble, principio y fin de fraguado, resistencia a la compresión y estabilidad de volumen.

2.5.2. Agua de amasado

Antes de comenzar la obra, si no se tienen antecedentes del agua que se empleará, se varían las condiciones de aplicación, o cuando lo estime oportuno la Dirección de Obra, se realizarán los ensayos correspondientes al artículo correspondiente de la EHE.

2.5.3. Áridos

Se aplicarán los ensayos contenidos en la EHE, en los artículos correspondientes a las condiciones físico-químicas, físico-mecánicas y granulométricas.

2.6. Condiciones de protección contra incendios en los edificios

2.6.1. Condiciones técnicas exigibles a los materiales

Los materiales a emplear en la construcción de la edificación, se clasifican en función de los efectos que sufren frente al fuego, de acuerdo la norma UNE 23-727-90 (ensayos de reacción al fuego de los materiales usados en construcción), en las clases siguientes, dispuestas por orden creciente a sus grados de inflamabilidad: M0, M1, M2, M3, M4 y M5.

Los fabricantes de materiales que se empleen vistos o como revestimientos o acabados superficiales, deberán acreditar su grado de inflamabilidad mediante certificados de ensayo, realizados en laboratorios oficiales y homologados para ser empleados cuando sea oportuno.

Aquellos materiales con tratamiento adecuado para mejorar su comportamiento ante el fuego (materiales ignífugos), serán clasificados por un laboratorio oficial y homologado, fijando un certificado o periodo de validez de ignifugación.

Los materiales que sean de difícil sustitución y aquéllos que vayan situados en el exterior, se clasifican con la clase que corresponda al material sin tratamiento ignífugo.

Los materiales cuya combustión o Pirólisis produzcan la emisión de gases potencialmente tóxicos, se emplearán en la forma y cantidad que reduzca su efecto nocivo en caso de incendio.

2.6.2. Condiciones técnicas exigibles a los elementos constructivos

La resistencia del material ante el fuego queda fijada por un tiempo t , durante el cual éste es capaz de mantener las condiciones de estabilidad mecánica, aislamiento térmico, estanqueidad a las llamas y ausencia de emisión de gases inflamables, excepto en el caso de las puertas, para las cuales se excluye el mantenimiento de la condición de aislamiento térmico.

La comprobación de las nombradas condiciones para cada elemento constructivo, se verificará mediante los ensayos descritos las siguientes normas:

- UNE 23-093-81: ensayo de la resistencia al fuego de las estructuras y elementos de construcción.
- UNE 23-801-79: ensayo de resistencia al fuego de la construcción de vidriados.

- UNE 23-802-79: ensayo de la resistencia al fuego de puertas y otros elementos de cierre de huecos.

Los elementos constructivos se clasifican mediante la expresión de su condición de resistencia al fuego la (FR), así como de su tiempo, en minutos, durante el cual mantienen dicha condición.

Los fabricantes de materiales específicamente destinados a proteger o aumentar la resistencia ante el fuego de los elementos constructivos, demostrarán mediante certificados de ensayo las propiedades de comportamiento que figuren en la documentación.

Los fabricantes de otros elementos de construcción que hagan constar en la documentación técnica de los mismos su clasificación a efectos de resistencia ante el fuego, deberán justificarlo mediante los certificados de ensayo en los que se basan.

La realización de los ensayos y llevar a cabo en laboratorios homologados y autorizados por la Administración del Estado.

3. Instalación eléctrica

3.1. Generalidades

Los materiales y ejecución de la instalación eléctrica cumplirán lo establecido en el Reglamento Electrotécnico para Alta y Baja Tensión (RAT y RBT, respectivamente) e instrucciones técnicas complementarias ITC MI.BT. Asimismo, se adoptarán las diferentes condiciones previstas en las normas:

- NTE- IEP: instalaciones de electricidad. Puesta a tierra.
- NTE- IEP: instalaciones de electricidad. Baja tensión.
- NTE- IEI: instalaciones de electricidad. Alumbrado interior.
- NTE- IEE: instalaciones de electricidad. Alumbrado exterior.
- NTE- IER: instalaciones de electricidad. Red exterior.

Se deberán tener en cuenta los Reglamentos locales. Además, con carácter general, se aplicarán las normas UNE en los equipos y materiales a los que se puedan aplicar.

En casos de distintas calidades o interpretaciones de los distintos reglamentos y normas aplicables, se tomará en cuenta la opinión y decisión de la Dirección de Obra.

Todos los equipos y materiales eléctricos se instalarán de acuerdo con las normas de los fabricantes.

3.2. Identificación

Todos los conductos serán identificados al principio y al final del recorrido, mediante accesorios tipo Unex o similar, en material no corrosivo.

3.3. Conductores

Las bobinas y rollos de cable se protegerán de todo daño posible durante la obra.

No se introducirán los conductores en los conductos antes de que estos estén perfectamente colocados en su sitio y haya sido previamente comprobado que no existe ninguna obstrucción en su interior.

Los conductores serán tratados con todo cuidado durante la obra para evitar la posibilidad de dañarlos. Se tomarán las medidas necesarias para que los cables no estén sometidos a tensiones excesivas durante su instalación. En cualquier caso, los radios de curvatura de los cables siempre serán superiores a diez veces el diámetro.

Los cables se protegerán de posibles daños mecánicos elevándolos 2,5 metros del nivel del suelo, y alojándolos en el interior de tubos de protección, o bien, en bandeja con tapa de protección.

No se tenderán más de dos capas de cables en las bandejas dispuestas horizontalmente, y cuando estén en vertical, sólo se instalará una capa.

Cuando varios conductores vayan juntos en un tubo, se introducirán todos al mismo tiempo.

Todos los conductores que se empleen serán de cobre y deberá cumplir las Normas UNE 20003, UNE 21022 y UNE 21064. Su aislamiento y cubierta serán de policloruro de vinilo y deberá cumplir la Norma UNE 21029.

El Adjudicatario informará por escrito al Ingeniero Director de la Obra el nombre del fabricante de los conductores y le enviará una muestra de los mismos. Si fabricante no reúnan la suficiente garantía a juicio del Ingeniero Director, antes de instalar el molde se comprobarán las características de estos en un laboratorio oficial.

No se admitirán cables que presenten desperfectos superficiales, o que no vayan en las bobinas de origen en las que deberá figurar el nombre del fabricante y tipo de cable y sección.

No se permitirán el empleo de materiales de procedencia distinta en un mismo circuito.

3.4. Terminales

Se utilizarán terminales de precisión para la conexión de los conductores a los equipos y barras de distribución.

3.5. Instalación de aparatos

Todos los aparatos se instalarán en donde se muestran los planos quedando completamente preparados para funcionar.

El Adjudicatario de la instalación deberá poseer las instrucciones de los diferentes fabricantes de los equipos y seguirlas ordenadamente.

Cuando los equipos vayan sobre paredes, techos o estructuras, el adjudicatario realizará todo el trabajo necesario para su fijación.

3.6. Cuadros de distribución

Los cuadros serán nivelados y alineados perfectamente en su sitio usando calzos si fuese preciso. Antes de entrar en servicio, serán repasadas todas las conexiones la tornillería, y se limpiarán perfectamente todos los aisladores.

El Adjudicatario realizará todas las conexiones interiores y exteriores que se requieran.

Serán de aleación ligera o de PVC, con índice de protección IP55. Cada caja será identificada con una placa de plástico o baquelita de color negro en el lateral más visible.

3.7. Instalaciones de fuerza y alumbrado

El adjudicatario realizará las conexiones en cajas, aparatos, etc., y serán instalados completamente, incluyendo lámparas, difusores como reactancias, etc., y todos aquellos accesorios que formen parte del montaje.

En la sala de control de la planta, se dispondrá una iluminación a base de luminarias estancas con tubos fluorescentes de 36 W. Esta sala tendrá dos circuitos de acceso utilizando interruptores unipolares de 16 A (50% de luminarias cada uno). Para la sala de equipos y el almacén se emplearán tubos de 36 W.

Las lámparas se instalarán una vez que están perfectamente colocados los aparatos de alumbrado, de acuerdo con los planos y las instrucciones del fabricante. Las cajas de mecanismos no se instalarán hasta conocerse perfectamente el acabado de las paredes en donde ha de alojarse y no se permitirá el paso de conductores hasta que estén bien tomadas.

3.8. Equilibrio de fases

Se realizarán las conexiones de receptores de tal manera que el desequilibrio de fases no supere más de 10%.

3.9. Acometida General

El cable cumplirá, además, la normativa particular de la empresa suministradora de energía.

Los conductores estarán aislados para una tensión nominal de 1000 V del tipo UNE DV-06/1kV, y sección 35 mm².

3.10. Caja de protección

Estará construida en material aislante, auto extingible, según norma UNE 20234, y será de grado de protección 417, como indica la norma UNE 20305. Será del tipo CGPH de 250 A y contendrá cartuchos y fusibles calibrados de 250 A y neutro seleccionable.

3.11. Línea de reparto

Será del tipo UNE DV-06/1kV, alojada en el interior de una canalización de tubo aislante de PVC, auto extingible.

Los diámetros de conductor y canalización se fijan en los planos correspondientes.

3.12. Contadores

Los módulos serán de material aislante, auto extingible y de estabilidad térmica de clase A, proporcionando un grado de protección de 413 de acuerdo con la norma UNE 20324. Serán accesibles por medio de tapa transparente y precintable de las mismas características que los módulos.

3.13. Derivaciones individuales

Los conductores serán de tipo rígido de cobre. Se instalarán en el interior de tubos rígidos de PVC, de acuerdo con la norma MI-BT-019.

Los diámetros de conductores y tubos se fijarán en los planos correspondientes cada derivación contendrá las fases neutro y conductor de protección.

Las cajas de derivación serán aislantes, con tope del mismo material, ajustable a presión o con tornillos y estarán dotadas de huellas de ruptura para el peso de los tubos.

3.14. Instalación

Los mecanismos, cajas de derivación y pantallas serán de tipo estanco con protección IP-4, contra chorro de agua. La instalación será de superficie los conductores Irán por el interior de tubos rígidos de PVC con diámetros que se reflejan en los planos correspondientes.

3.15. Instalación de puesta a tierra

Se realizará por medio de electrodos de tierra de 2 metros de longitud y 14 milímetro de diámetro de cobre con alma de acero. El conductor de unión de las picas era de cobre de 35 mm² de sección de acuerdo con la instrucción MI-BT-039.

Los portes metálicos de los soportes se unirán a dicho conductor mediante soldadura autógena. La línea de la cede el de la red con tierra será de 35 mm², que enlazará con la línea principal de tierra de 16 mm².

3.16. Inspecciones, pruebas y recepciones

El Adjudicatario realizará todas las pruebas y ensayos de circuitos y equipos, así como aquellas que le sean requeridas por parte de la Propiedad, proporcionando la mano de obra y medios necesarios, de acuerdo con el indicado en el presente documento.

En general se incluyen, sin limitarse, las siguientes pruebas y ensayos:

- Pruebas necesarias para retener la garantía de los fabricantes.
- Pruebas de aislamiento fase-fase y fase-tierra de todos los cables.
- Nivel de aislamiento.
- Pruebas de continuidad y medida de la resistencia de la red de tierra y tensiones de paso y contacto.
- Comprobación de polaridades y secuencia de fases.
- Comprobación nocturna del sistema de alumbrado.
- Certificación de todas las pruebas.

En particular, las pruebas de cables se realizarán inmediatamente después de que éstos sean tendidos y antes de efectuar la conexión. De cableado será comprobado en cuanto la correcta identificación, continuidad y resistencia de aislamiento entre conductores y entre éstos a tierra. Estas pruebas de continuidad y resistencia de aislamiento se realizarán empleando el equipo para cumplir con los reglamentos aplicables.

4. Instalaciones mecánicas

4.1. Generalidades

Las prestaciones del Adjudicatario requeridas en esta especificación comprenden los siguientes conceptos:

- Suministro de todos los equipos, con aportación del material de fijación, abarcones, tornillería, juntas y todos los accesorios necesarios para el correcto montaje y funcionamiento, aun cuando no estuviesen expresamente especificados, incluso todos los elementos necesarios para realizar el movimiento de materiales en obra, grúas, andamios, elementos de acceso y protección, y, en general, que todos los equipos auxiliares que se precisen.
- Pintado de identificación según norma UNE 1063 de todos los tramos de tubería y de sus correspondientes soportes y accesorios.
- Pruebas de presión y estanqueidad.
- Revisión y puesta en servicio.
- Confección de los croquis de detalles constructivos y de montaje necesarios, que serán sometidos a la aprobación de la Dirección de Obra antes de su ejecución.

- Confección del proyecto “as built” de todos los tramos, incluyendo los trazados isométricos, plantas y detalles.
- Tramitación de los permisos necesarios, aportando la documentación oportuna.

Para la elaboración de la oferta, el Adjudicatario deberá:

- Tener en cuenta todo aquello que considere necesario para la ejecución de la instalación, aunque no se encuentre especificado en detalle.
- Valorar el grado de dificultad de montaje de las diferentes redes, previendo de todo tipo de equipos necesarios para su ejecución.
- Identificar in situ el lugar de la obra, con el fin de tener en cuenta en su oferta todo aquello que considere necesario para el desarrollo de la misma, y no se encuentre especificado en detalle.
- Atenerse a las normas de seguridad e higiene en el trabajo establecidas, atendiendo en todo momento las indicaciones que estime oportunas la Propiedad.
- Tomar en consideración que el área que se le adjudique dentro de los terrenos para almacenamiento de materiales, oficinas y servicios, será de su entera responsabilidad, tanto en cuanto los materiales allí almacenados, herramientas y equipos de montaje, como a efectos personales y documentación general.
- Del mismo modo, las casetas de obra para el personal y herramientas serán por su cuenta y deberán ser retiradas al finalizar los trabajos referidos en oferta realizada.

4.2. Materiales

Las especificaciones de los materiales objeto de este Pliego, salvo indicación contraria en los planos, serán las indicadas a continuación.

4.2.1. Accesorios

Los accesorios, codos, reducciones, etc., serán según la norma DIN correspondiente, teniendo en cuenta las necesidades de trazado en cada caso. Las juntas serán de los siguientes espesores mínimos y materiales:

- Hasta 2 ½”: Teflón.
- De 2 ½” a 4”: 2 mm de metal o plástico.
- De 4” a 12”: 3 mm de metal o plástico.
- De 12” en adelante: 4 mm de metal o plástico.

4.2.2. Soportes

Podrán emplearse soportes normalizados de fabricación estándar cuando las condiciones de montaje lo permitan. En los demás casos los soportes se construirán in situ utilizando perfiles angulares, mínimo 60-60-6 mm, o bien perfiles del doble T de ala ancha.

Las tuberías aéreas o en galerías se soportarán como máximo cada 8 m para diámetros superiores a 6" y cada 4 m at para los demás diámetros, debiéndose prever soportes intermedios adecuados si fuesen necesarios. Los abarcones para la sujeción de tuberías no sometidas a esfuerzos térmicos de hasta 4" de diámetro, serán de redondo de acero al carbono con puntas roscadas y sobre tuerca, según DIN-3570. Para diámetros mayores a 4" se usará pretina de acero al carbono a la que se soltarán espárragos de varilla roscada con doble tuerca para su amarre al soporte, DIN-1593.

4.2.3. Recipientes a presión

Los recipientes a presión cumplirán con el Reglamento de Aparatos a Presión, tanto en su dimensionamiento como en su montaje y operación.

4.3. Condiciones de ejecución

4.3.1. Tuberías y accesorios

4.3.1.1. Uniones

Las uniones de tuberías se realizarán mediante soldadura a tope o a rosca cilíndrica, según se indique. Los accesorios, codos, tes, reducciones, etc., se unirán también por medio de soldadura a tope.

Las conexiones a válvulas serán con bridas de cuello según normas ANSI. Las uniones de montaje y desmontaje se harán también con bridas de cuello según normas ANSI.

No se admitirá calentamiento de la tubería que sirva para remediar sobre otros efectos de alineación.

La longitud de tubos suministrados será como mínimo de 8 m, la longitud media no será inferior a 9 m.

No se admitirán en los tubos:

- Grietas o pliegues de laminado.
- Abolladuras
- Las rayas, corrosiones que puedan atacar la resistencia mecánica del tubo.
- Las asperezas o escamas internas visibles que no ataquen la resistencia mecánica del tubo, pero susceptibles de serlo durante la explotación.

Todos los codos, tes, válvulas, tubos, etc., deberán estar colocados de forma que se puedan desmontar.

En todos los puntos se podrán apretar o soldar los tornillos de bridas, juntas, etc., con facilidad.

En los lugares en que se coloquen codos o tres, se sujetarán éstos a ambos lados, de forma que no puedan ser expulsados.

4.3.1.2. Interferencias de trazado

Para salvar cruzamientos de tuberías de la misma altura, nos deberán formarse codos hacia arriba, salvo indicación expresa de la Dirección de Obra.

Cuando deban ponerse dos o más codos en un tramo y montarse de tal manera que se eviten puntos de acumulación de aire, y cuando estos sean inevitables, se instalará en ellos un purgador automático.

4.3.1.3. Curvado

Toda tubería de diámetro menor de 1 ½" irá doblada al frío, respetando la sección circular a lo largo del desarrollo curvado.

Las tuberías de diámetro mayor de 1 ½" irán mediante curvas de tipo N-3D (DIN 2605).

Los tubos doblados tendrán un radio de curvatura constante en todos los puntos, estando exentos de pliegues, deformación, variaciones de espesor, etc.

4.3.1.4. Soldadura

La soldadura de los tubos está prevista a tope, no permitiéndose la soldadura a solape. El material necesario para la soldadura al arco será por cuenta del Adjudicatario.

Para la ejecución de las soldaduras, si es preciso, se exigirá la limpieza interior del tubo metálico por paso de una escobilla. Sus extremidades calibradas serán verificadas con la ayuda de un tapón calibrado.

El tubo será alineado de forma que su eje se confunda con el precedente y las extremidades a soldar serán mantenidas en su sitio durante el puenteo con la ayuda de un dispositivo apropiado. Preferentemente, ese dispositivo será introducido en el tubo y deberá impedir la ovalización del tubo por expansión de este último. No será tolerada ninguna desnivelización de los bordes superiores a 1,2 mm.

El juego entre los tubos deberá ser tal que en la ejecución de la soldadura la fusión del metal de base afecte a todo el espesor de su pared. Los accesos de la soldadura serán liberados de toda traza de cuerpos de origen mineral u orgánico.

Ninguna gota de soldadura será tolerada en el interior del tubo.

La penetración de la soldadura será regular, al contrario de las juntas, será de débil volumen y su espesor será tal que la suma de su Valor y del de la desnivelización eventual de los bordes no

podrá exceder de 1,6 metros. El cordón de metal depositado no llevará huecos o surcos laterales.

Los soldadores que intervengan en los trabajos deberán presentar los certificados de homologación y calificación otorgados por la Autoridad competente. La calificación de los soldadores y la recepción por radiografía de las soldaduras se hace según lo indicado a continuación:

- Falta de penetración: junta soldada, no interesando la totalidad del espesor de la pared del tubo. Una longitud máxima de 25 mm de soldadura no penetrada no será admitida más que cuando esté comprendida entre dos cordones reconocidos sin defecto de 150 mm de longitud unitaria.
- Falta de fusión: junta soldada por la cual el metal de base del tubo no ha sido fundido. Una longitud máxima de 25 mm de soldadura no fundida no será admitida más que cuando esté comprendida entre dos cordones reconocidos sin defecto de 150 mm de longitud unitaria.
- Sopladuras: una longitud máxima acumulada de 25 mm por 100 mm de cordón no será admitida más que si el cordón es reparado por 300 milímetro de soldadura sin defecto.
- Inclusiones gaseosas: su longitud será inferior a 3 mm y no serán definidos.
- Inclusiones de escorias: igual que sopladuras.
- Inclusiones alineadas de escorias: la línea de escoria no podrá tener una longitud máxima de 50 mm sin espesor máximo de 1,5 mm más que si el cordón afectado está comprendido entre dos sopladoras reconocidas sin defecto de 300 mm de longitud mínima unitaria.
- Canales o surcos laterales: un canal continuo de 4/10 mm no podrá ser tolerado más que si la longitud es superior a 25 mm.
- Cráteres en la superficie del cordón: su profundidad será inferior 0,01 mm.
- Sobredimensionamiento exterior del cordón: comprendido entre 1 y 3 mm.
- Penetración y falta de alineación: el espesor de estos dos defectos acumulados será inferior a 1,6 mm.
- Fisuras: prohibidas.

Los defectos mencionados podrán acumularse sobre una longitud máxima de 50 mm a condición de que esta acumulación esté comprendida entre dos soldaduras sin defecto, teniendo una longitud mínima de 300 mm. En ningún caso la longitud total de las combinaciones de defectos podrá exceder del 10% de la longitud del cordón soldado.

En cuanto a la identificación de soldaduras, el Adjudicatario tendrá en dos ejemplares un cuaderno de soldadura, en el que se indicará:

- El número de soldadura (un mismo número no podrá designar dos soldaduras diferentes).
- El número de fabricación de los tubos.
- El marcado de las soldaduras con relación a marcas bien determinadas.
- El indicativo del soldador que ha ejecutado la soldadura.
- Las características de los electrodos empleados.
- La fecha de ejecución.
- La fecha del examen radiográfico.
- El indicativo del controlador.
- La fecha y resultados de los ensayos radiográficos.
- Las longitudes exactas de los elementos tubulares derechos y acortados entre dos soldaduras.

Toda soldadura reconocida defectuosa al examen o a la prueba de estanqueidad indicada más adelante será reparada por cuenta del Adjudicatario.

La reparación se efectuará a tiempo repetición local del efecto, bien por reemplazamiento completo de la soldadura defectuosa.

Cuando la repetición local afecte a la primera pasada, conocida como pasada de fondo, serán tomadas todas las precauciones para que la penetración responda a las especificaciones anteriormente citadas.

El reemplazamiento completo de la soldadura definitiva será efectuado por soldadura de un cordón, reemplazando la soldadura quitada.

Cada soldadura sustituida, localmente o en su totalidad, será registrada en el cuaderno de soldadura, siguiendo las especificaciones citadas, más en el caso de una intervención localizada, donde se hará constar también la longitud del cordón reparado y del modo de ejecución.

4.3.1.5. Pruebas de estanqueidad y presión

Una vez terminada de montar una red de un fluido, se procederá a verificar la misma, comprobando el apriete de los tornillos de bridas, que existan todos los tornillos en las bridas y que existan juntas entre ellas. En las uniones roscadas se comprobará la junta de unión (cinta de teflón).

En las válvulas se comprobará su posición correcta, abierta o cerrada según los casos.

Realizada la comprobación anterior, se realizará la prueba de estanqueidad, utilizando para ello agua temperatura ambiente y a la presión de trabajo durante un período de 24 horas.

Las pruebas de presión de las tuberías deberán efectuarse durante 60 minutos a 1,5 veces la presión normal de trabajo, para lo cual el Adjudicatario deberá prever los elementos necesarios.

Todos los gastos ocasionados por las citadas pruebas correrán por cuenta del Adjudicatario, así como las correcciones que se deban efectuar hasta conseguir los resultados requeridos.

4.3.2. Soportes y estructuras

En este apartado se establecen las condiciones técnicas requeridas para el suministro y montaje de los soportes necesarios para las tuberías objeto de la especificación.

4.3.2.1. Diseño de materiales y fabricación

Los materiales a emplear serán los indicados en los planos.

Todos los materiales de chapa emplear por el suministrador, deberán venir avalados por certificados de calidad de la siderúrgica.

Los perfiles laminados bastarán con que lleven la marca de calidad impresa en el relieve de laminación.

Todos los materiales de aportación de soldadura vendrán avalados por sus certificados de calidad. Este material será controlado durante los procesos de fabricación y reparación de elementos para comprobar que el material usado es especificado.

Las tolerancias dimensionales de los productos laminados serán los indicados en la norma UNE 36080.

4.3.2.2. Uniones soldadas

El instalador será totalmente responsable de que el trabajo, tanto mano de obra como ejecución, cumpla las especificaciones requeridas.

Todas las soldaduras se efectuarán por alguno de los siguientes procedimientos:

- Arco manual con electrodo revestido.
- Semiautomática con protección de dióxido de carbono o gas inerte con electrodo macizo.
- Automática con arco sumergido.

El instalador entregará para su aprobación los procedimientos de soldadura a emplear, los que figurará como mínimo:

- Preparación de bordes.

- Posición.
- Proceso empleado, con indicación de parámetros.
- Características del metal de aportación.
- Secuencia y número de pasadas.
- Temperaturas de precalentamiento y método.
- Tratamiento térmico final, si se aplica.

Las características mecánicas del metal depositado serán como mínimo los de indicadas para el material base.

No se permitirá la realización de ninguna soldadura, ni siquiera provisional, a soldadores no homologados.

4.4. Pinturas y aislamiento

4.4.1. Tuberías

Las tuberías se limpiarán a base de chorreado de arena, grado Sa 2 ½. Las tuberías de acero al carbono, se tratarán según se indica:

- Limpieza: la superficie exterior de las tuberías, curvas, etc., se limpiarán a base de raspado, cepillado manual con cepillo de acero para dejar la superficie un grado de acabado correspondiente a St-2 de la norma SIS 055-900.
- Imprimación: una vez iniciada tuberías según el procedimiento indicado anteriormente, e inmediatamente después, se le dará a ésta una capa de imprimación de un espesor mínimo de 40 micras de película seca.
- Acabado: a base de dos manos de pintura acrílica, siendo ambas manos de diferentes tonos y con un espesor de 35 micras de película seca cada una.

Las tuberías enterradas en arena lavada se protegerán previo chorreado según grado Sa 2 ½, con una capa de imprimación de un espesor mínimo de 40 micras de película y doble encintado.

A las tuberías enterradas en hormigón únicamente se realizará un chorreado según grado Sa 2 ½.

Las tuberías que sean calorifugadas dispondrán de diferentes espesores de aislamiento en función de los diámetros, según lo especificado. El acabado exterior será mediante envolvente de chapa de aluminio de 0,8 milímetros de espesor debidamente curvada, soplaba, baldonada en sus extremos y fijada mediante tornillos. En los codos o curvas, la chapa irá en segmentos independientes, engatillados y atornillados entre sí.

4.4.2. Soportes

Los soportes se tratarán según se indica:

- Limpieza a base de chorreado de arena, grado Sa 2 ½.
- Imprimación anticorrosiva, con un espesor no inferior a 40 micras, y una capa de fondo al clorocaucho de alto espesor, 80 micras.
- Acabado a base de dos manos de pintura acrílica, siendo ambas de diferentes tonos y con un espesor mínimo de 50 micras cada una. El color y los tonos se elegirán de acuerdo con la Propiedad.

4.5. Control de calidad, inspección y pruebas

4.5.1. Requisitos generales

El Adjudicatario realizará y mantendrá un Plan de Control de Calidad.

El adjudicatario controlará los documentos, procedimientos e informes relacionados con las calidades de los equipos. La Propiedad o su representante tendrán accesibilidad a estos documentos, procedimientos e informes cuando así lo requiera.

El Adjudicatario identificará, documentará y notificará a la Propiedad todos los incumplimientos o desviaciones de los requisitos de esta especificación.

Al final de los trabajos se entregará a la Propiedad la documentación generada en los trabajos.

4.5.2. Pruebas y ensayos en tuberías

4.5.2.1. Ensayos no destructivos

4.5.2.1.1. General

El Adjudicatario será el responsable de todos los exámenes no destructivos y pruebas de tuberías suministradas bajo esta especificación.

La Propiedad tendrá autoridad para detener el trabajo o retener el envío si los requisitos de la especificación, incluyendo aquellos referentes a la documentación, no han sido cumplidos.

Todos los exámenes no destructivos serán realizados por personal cualificado.

4.5.2.1.2. Soldaduras a ser examinadas

La tubería igual o superior a 2" será radiografiada en su soldadura en un 5%. Si el índice de rechazo fuese superior al 10% de las soldaduras inspeccionadas, se supervisará el 100%. Además, serán también radiografiadas las soldaduras que, estando incluidas en líneas con pruebas de presión, no puedan ser sometidas a ella.

En las soldaduras que no van a ser examinadas volumétricamente, y cuya ejecución se realice saneando de raíz, se controlará el correcto saneado por medio de un examen de líquidos penetrantes.

Todas las reparaciones por soldaduras serán examinadas por líquidos penetrantes o partículas magnéticas. Las reparaciones importantes en tuberías serán radiografiadas.

En aquellas soldaduras que no se realicen radiografías se aplicará la inspección por líquidos penetrantes.

4.5.2.1.3. Procedimientos de examen

I. Examen radiográfico

Los procedimientos y las normas de aceptación estarán de acuerdo con el código ASME, sección V.

La interpretación final de la película y la aceptación o rechazo de la película y las soldaduras será efectuada por la Propiedad. El Adjudicatario inspeccionará y aceptará la película y las soldaduras antes de someterlas a supervisión de la Propiedad.

La densidad de cable de la película través del metal de soldadura será de 2,0 a 3,8 para revisión sencilla. Se utilizará la técnica radiografiada de visión sencilla y película doble.

Para la radiografía de tuberías, se colocará un cinturón numerado sobre la tubería para localizar sus defectos. El cinturón constará de números de plomo entre 6,4 y 12,7 mm de alto, e irán espaciados exactamente 24,5 mm para los tamaños de tubería de 2 ½" a 8". El cinturón empezará con cero y circundará la tubería.

La dirección de los números quedará permanentemente identificada sobre la tubería.

Los efectuarán agujeros las tuberías para las radiografías sin aprobación por escrito de la Propiedad.

II. Examen por líquidos penetrantes

Los procedimientos y las normas de aceptación estarán de acuerdo con el código ASME it. No se permitirá el uso de líquidos penetrantes eliminables por agua.

Mediciones de espesor de la pared

Se realizará un mínimo de cuatro mediciones de grosor de la pared, distanciadas entre sí a 90° sobre los extremos de todas las tuberías y accesorios o según lo requiera la Propiedad cuando el espesor de la pared se especifique por la pared mínima de la Lista de Línea.

La aceptación de la tubería y accesorios se basará en la pared mínima especificada más la tolerancia de medición.

Las mediciones de espesor y su situación se reflejarán en su informe y una copia del mismo será enviada a la Propiedad para su aprobación.

4.5.3. Pruebas hidrostáticas

Después de la instalación, todos los conjuntos fabricados serán sometidos a una prueba hidrostática de acuerdo con el código ASME.

El adjudicatario garantizará su trabajo como capaz de resistir dicha prueba.

4.5.3.1. Inspección y prueba en soporte

4.5.3.1.1. Inspección en soldaduras

El Adjudicatario realizará la inspección de las soldaduras de acuerdo con la presente especificación, cuyo alcance será el indicado en el apartado 4.3.1.4.

Las soldaduras se inspeccionarán visualmente al 100%. Además, se inspeccionarán mediante muestreo el 5% con líquidos penetrantes o, como alternativa, con partículas magnéticas.

Cuando la inspección mediante muestreo detecte que la soldadura correspondiente no cumple los requisitos de calidad mínimos, se efectuará una inspección de una muestra adicional del 10% mediante radiografiado. Esta muestra a examinar adicionalmente será la seleccionada por la Propiedad.

Si la inspección adicional revela que la soldadura cumple los requisitos mínimos de calidad de esta especificación, se repararán los defectos anteriormente detectados y se considerarán aceptables las soldaduras.

Si la muestra adicional examinada revela que la soldadura no cumple con los requisitos mínimos de calidad de esta especificación, se inspeccionará totalmente el resto de soldaduras mediante radiografiado, y la soldadura que no cumpla con las normas aceptación será eliminada, soldada e inspeccionada de nuevo.

4.5.3.1.2. Inspección radiográfica

Procedimiento

El examen radiográfico se efectuará de acuerdo con el artículo 2º de la subsección A, sección V del código ASME y empleando la técnica radiográfica especificada en la SE-94.

La densidad de la película deberá estar de acuerdo con lo indicado en el subartículo 234 de la sección V del código ASME.

Criterios de aceptación

Serán inaceptables los siguientes defectos:

- Toda grieta, falta de fusión o falta de penetración, cualquiera que sea su longitud.
- Toda porosidad por encima de la aceptada en el apéndice IV sección VIII del código ASME.

- Todo grupo de indicaciones en línea cuya suma de longitudes sea mayor que T en una longitud 12T y la distancia entre dos indicaciones contiguas sea menor de 6L, siendo T el espesor de la soldadura y L la longitud más larga del grupo.
- Toda indicación lineal cuya longitud sea mayor de:
 - 6 mm para $T \leq 19$ mm
 - $1/3 T$ para $16 \leq T \leq 57$ mm
 - 19 mm para $T > 57$ mm

4.5.3.1.3. Inspección con líquidos penetrantes

Procedimiento

Se efectuará de acuerdo con el artículo 6º de la sección V del código ASME siguiendo las recomendaciones del fabricante de los líquidos penetrantes empleados en inspección.

Criterios de aceptación

Serán inaceptables los siguientes defectos:

- Indicaciones redondas de tamaño superior a 5 mm.
- Toda grieta, cualquiera que sea su longitud.
- Cuatro o más indicaciones redondas en línea, separadas entre sí menos de 1,5 milímetro de borde a borde.
- Toda indicación lineal cuya longitud sea mayor de 1,5 mm.

4.5.3.1.4. Inspección con partículas magnéticas

Procedimiento

Se efectuará de acuerdo con el artículo 7º de la sección V del código ASME empleando el método más idóneo según la geometría de la pieza.

Criterios de aceptación

Serán los mismos que en el caso de la inspección con líquidos penetrantes.

4.5.3.1.5. Inspección visual

Criterios de aceptación

Se considerarán defectuosos y deberán ser reparados mediante esmerilado los cordones de soldadura a tope que presenten sobreespesores superiores a los indicados:

- Espesor de la chapa: hasta 25 mm.
- Máximo sobre espesor de 2,4 mm.

Asimismo, deberán ser reparados los cordones de soldaduras que presenten mordeduras de profundidad superior a 0,8 mm.

4.5.3.2. Reparación de soldaduras

En caso de duda sobre la bondad de una soldadura, la propiedad podrá realizar por su cuenta inspecciones de nivel superior. Si dichas inspecciones demostrasen que las soldaduras son inaceptables, el costo de las mismas y su reparación serán por cuenta del adjudicatario.

Todas las reparaciones de soldadura se efectuarán de acuerdo con los procedimientos aprobados y se supervisarán según los métodos especificados.

5. Documentación

Todos los documentos explícitamente indicados en este apartado, así como los requeridos a lo largo del presente Pliego de Condiciones, forman parte inseparable del proyecto.

Todos serán realizados en español y adoptarán el Sistema Internacional de unidades (S.I.). Formarán parte de este apartado, como mínimo, los siguientes documentos:

- Modificación o complemento de los proyectos existentes para permisos oficiales de Unión Eléctrica Fenosa y Delegación de Industria para instalación de Baja Tensión y demás elementos instalación eléctrica.
- Planos de disposición: representarán los equipos en detalle y perfectamente acotados.
- Plano de detalle de montaje: representarán todos los detalles necesarios para la correcta ejecución del montaje de los equipos.
- Lista de materiales: deberá reflejar todos datos necesarios sobre las diferentes partes del equipo susceptibles de ser puestas.
- Lista de planos: consistirá una relación del conjunto de planos, número de hojas, título y número de la última revisión.
- Instrucciones de montaje.

- Instrucciones de servicio.
- Instrucciones de mantenimiento.

6. Equipos de la planta industrial

6.1. Lista de equipos

La planta industrial para la formación en continuo de γ -butirolactona, comprende los siguientes equipos principales:

Tabla 1. Lista de equipos principales de la planta

Equipo	Descripción
E-101	Evaporador 1,4-Butanodiol
E-102	Evaporador Anhídrido Maleico
K-101	Compresor 1,4-Butanodiol
K-102	Compresor Anhídrido Maleico
V-101	Tanque de mezcla
R-201	Reactor
E-301	Condensador parcial
V-301	Tanque de homogenización
P-301 A/B	Bomba de impulsión
T-301	Columna de destilación
E-302	Condensador total
V-302	Tambor de reflujo
P-302 A/B	Bomba de impulsión
E-303	Evaporador parcial
K-401	Compresor recirculación
E-401	Intercambiador recirculación

6.2. Fichas de especificación de los equipos

En este apartado se presentan las fichas de especificación de los equipos principales de la planta que se han diseñado en el Documento I. Memoria, específicamente en los Anexos I y II correspondientes a los balances de materia y energía y los cálculos justificativos, respectivamente.

6.2.1. Evaporador E-101

Tabla 2. Ficha de especificación del Evaporador E-101

Evaporador E-101	
Tipo	Kettle
Nomenclatura TEMA	AUK
Calor (kW)	492,4
Área (m²)	25,23
ΔT_m (°C)	24,50
U (W/m²·K)	800
<i>Diseño tubos</i>	
Tipo	Tubos en U
Material	SS AISI 316
Número tubos	70
Tamaño estándar ASME	5/8" BWG 12
Longitud (m)	7,32
Diámetro haz (m)	0,32
Disposición	Cuadrado
<i>Diseño carcasa</i>	
Material	SA 516 Gr. 70
Diámetro (m)	0,64
Altura de líquido (m)	0,41
Longitud (m)	4,16
<i>Parámetros relevantes de diseño</i>	
Velocidad vapor (m/s)	0,07
Calor por área (kW/m²)	19,6

6.2.2. Evaporador E-102**Tabla 3. Ficha de especificaciones del Evaporador E-102**

Evaporador E-102	
Tipo	Kettle
Nomenclatura TEMA	AUK
Calor (kW)	207,7
Área (m²)	8,73
ΔT_m (°C)	28
U (W/m²·K)	850
<i>Diseño tubos</i>	
Tipo	Tubos en U
Material	SS AISI 316
Número tubos	20
Tamaño estándar ASME	3/4" BWG 13
Longitud (m)	7,32
Diámetro haz (m)	0,22
Disposición	Cuadrado
<i>Diseño carcasa</i>	
Material	SA 516 Gr. 70
Diámetro (m)	0,43
Altura de líquido (m)	0,28
Longitud (m)	4,16
<i>Parámetros relevantes de diseño</i>	
Velocidad vapor (m/s)	0,06
Calor por área (kW/m²)	23,8

6.2.3. Compresor K-101

Tabla 4. Ficha de especificaciones del Compresor K-101

Compresor K-101	
Tipo	Centrífugo
Eficacia (%)	66%
Potencia (kW)	9,52

6.2.4. Compresor K-102

Tabla 5. Ficha de especificaciones del Compresor K-102

Compresor K-102	
Tipo	Centrífugo
Eficacia (%)	65%
Potencia (kW)	6,13

6.2.5. Tanque de mezcla V-101

Tabla 6. Ficha de especificaciones del tanque de mezcla V-101

Tanque de mezcla V-101	
Orientación	Vertical
Material	AISI SA-372 Gr. J C.70
Cabezales	Toriesféricos
Soporte	Soporte de falda cónico
<i>Dimensiones</i>	
Longitud (m)	11,77
Diámetro interno (m)	3,93
Espesor estándar (mm)	12,7 (0,5 in.)
<i>Aislante</i>	
Material aislante	Fibra de vidrio
Modelo comercial	Owens Fiberglas
Primera capa	1" modelo L1
Segunda capa	1" modelo HP5 II Mat

6.2.6. Reactor R-201

Tabla 7. Ficha de especificaciones del reactor R-201

Reactor R-201	
Tipo	Catalítico de lecho fijo adiabático
Material carcasa	AISI SA-372 Gr. J C.70
Orientación	Vertical
Cabezal superior	Toricónico
Cabezal inferior	Toriesférico
Soporte	Soporte de falda cónico
<i>Dimensiones carcasa</i>	
Longitud (m)	1,63
Diámetro interno (m)	3,00
Espesor estándar (mm)	12,7
<i>Lecho catalítico</i>	
Tipo catalizador	Pastillas cilíndricas de Cu-ZnO-Al ₂ O ₃
Modelo comercial	INS Pulawy TMC-3/1
Masa empleada (kg)	11.218
Volumen del lecho (m³)	8,63
Plato soporte comercial	Delta Screens Grid Supports
<i>Aislante</i>	
Material aislante	Fibra de vidrio sintética
Modelo comercial	Owens Fiberglas
Capa aislante	1" modelo L1

6.2.7. Condensador E-301

Tabla 8. Ficha de especificaciones del Condensador E-301

Condensador E-301	
Nomenclatura TEMA	BHM
Pasos por tubo	4
Pasos por carcasa	1
F	1,0
ΔT_{ml} (°C)	93,63
Calor (kW)	3117,55
Área (m²)	154,65
U (W/m²·K)	200
<i>Tubos</i>	
Fluido	Agua de refrigeración a 5°C
Material	SA-372 Gr. A Clase 70
Número tubos	133
Tamaño estándar ASME	2 1/2" BWG 14
Longitud (m)	6,10
Disposición	Triangular
ΔP (bar)	0,264
<i>Carcasa</i>	
Fluido	Corriente 8
Material	SA-372 Gr. J Clase 70
Cabezal	Cabezal flotante de anillo partido
Diámetro (m)	1,74
Longitud (m)	2,10
<i>Baffles internos</i>	
Tipo	Segmento simple
Material	SA-372 Gr. J Clase 70
Separación (m)	0,85
% Corte	25
<i>Recolector de líquido</i>	
Inclinación (%)	15
Material	SA 516 Gr. 70
Longitud (m)	2,7
Ancho (m)	0,5

6.2.8. Tanque de homogenización V-301

Tabla 9. Ficha de especificaciones del tanque de homogenización V-301

Tanque de homogenización V-301	
Orientación	Vertical
Material	SA 516 Gr. 70
Cabezales	Toriesféricos
Soporte	Soporte de falda cilíndrico
<i>Dimensiones</i>	
Longitud (m)	2,5
Diámetro (m)	0,5
Tiempo retención (min)	10
Altura de líquido (m)	0,75

6.2.9. Columna de destilación T-301

Tabla 10. Ficha de especificaciones de la columna de destilación T-301

Columna de destilación T-301	
Tipo	Columna de relleno
Material carcasa	Acero al carbono SA 516 Gr. 70
Orientación	Vertical
Cabezales	Toriesféricos
Soporte	Soporte de falda cónico
Dimensiones carcasa	
Longitud (m)	4,30
Diámetro interno (m)	0,25
Espesor estándar (mm)	5,1 (0,2 in.)
Capa de aislante	1" modelo L1
Relleno	
Relleno estándar	Anillos Pall de 1"
Distribución	Al azar
Zonas de relleno	2: Rectificación y agotamiento
Volumen de relleno (m³)	0,141

6.2.10. Condensador E-302

Tabla 11. Ficha de especificaciones del condensador E-302

Condensador total E-302	
Tipo	Condensador total
Fluido refrigerante	Agua de refrigeración a 10°C
Nomenclatura TEMA	AES
Pasos por tubo	2
Pasos por carcasa	1
Calor (kW)	133,54
Área (m²)	5,04
ΔT_m (°C)	90,2
U (W/m²·K)	300

6.2.11. Evaporador E-303

Tabla 12. Ficha de especificaciones del evaporador E-303

Evaporador parcial E-303	
Tipo	Kettle
Fluido calefactor	Vapor saturado a media presión
Nomenclatura TEMA	AUK
Calor (kW)	325,59
Área (m ²)	12,96
ΔT_m (°C)	31,4
U (W/m ² ·K)	800

6.2.12. Compresor K-401

Tabla 14. Ficha de especificaciones del Compresor K-401

Compresor K-401	
Tipo	Centrífugo
Eficacia (%)	74%
Potencia (kW)	93,42
Material	AISI SS 304

6.2.1. Intercambiador de calor E-401

Tabla 15. Ficha de especificaciones del Intercambiador de calor E-401

Intercambiador de calor E-401	
Nomenclatura TEMA	AES
Pasos por tubo	2
Pasos por carcasa	1
F	0,9
Calor (kW)	2293,97
ΔT_{lm} (°C)	72,56
Área (m ²)	351,22
U (W/m ² ·K)	100
<i>Diseño tubos</i>	
Fluido	Gas (corriente 16)
Material	SA372 Gr. J Clase 70
Número tubos	462
Tamaño estándar ASME	2" BWG 14
Longitud (m)	4,88
Disposición	Triangular
ΔP (bar)	0,003 (<i>Despreciable</i>)
<i>Diseño carcasa</i>	
Fluido	Aceite térmico MOL Thermol 46
Material	SS-304 Gr. H
Cabezal	Cabezal flotante de anillo partido
Diámetro (m)	1,58
Longitud (m)	2,94
ΔP (bar)	0,03
<i>Baffles internos</i>	
Tipo	Segmento simple
Material	SS-304 Gr. H
Separación (m)	0,31
% Corte	25

DOCUMENTO IV
PRESUPUESTO

ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Coste de los equipos	2
2.1. Valor base.....	2
2.2. Actualización del precio base y conversión monetaria	4
3. Cálculo de los presupuestos parciales	5
3.1. Costes directos	6
3.1.1. Coste de los equipos	6
3.1.2. Instalación de equipos.....	6
3.1.3. Tuberías.....	6
3.1.4. Instrumentación y control.....	6
3.1.5. Instalación eléctrica.....	7
3.1.6. Utilidades	7
3.1.7. Off-site.....	7
3.1.8. Edificios	7
3.1.9. Terreno y acondicionamiento	8
3.2. Costes indirectos	8
3.2.1. Diseño, ingeniería y construcción	8
3.2.2. Fondo de contingencia	8
3.3. Capital circulante.....	8
4. Presupuesto total	9
5. Referencias.....	10

1. Introducción

En este documento se presenta el presupuesto de obra e instalación de los equipos correspondiente a la construcción de la planta de producción de γ -butirolactona.

El presupuesto total se calcula en base a los presupuestos parciales, que se reflejan a continuación:

- Equipos: Coste relativo a la compra de los equipos del proceso.
- Instalación de equipos: Costes del material de obra, soportes, maquinaria y mano de obra requeridos para el montaje de los equipos.
- Tuberías, accesorios, aislamiento y pinturas.
- Instrumentación y control: Costes de los componentes de los sistemas de control, así como su instalación y mantenimiento.
- Instalación eléctrica: Costes relacionados con el cableado, materiales y montaje de equipos eléctricos.
- Utilidades: Costes de las unidades de proceso encargadas de generar las corrientes de utilidades. Comprende asimismo la generación y distribución de electricidad.
- Off-site: Costes relativos a los edificios auxiliares necesarios para el buen funcionamiento de la planta, como las carreteras y accesos o las instalaciones de almacenamiento, entre otros.
- Edificios: Costes de los edificios del área de proceso, que son el edificio principal y los edificios auxiliares (oficinas, laboratorio, aparcamientos...)
- Terreno y acondicionamiento: Coste de la compra del terreno y de las obras de preparación del mismo, incluyendo la nivelación, excavación y movimientos de tierra.
- Diseño, ingeniería y construcción: Costes de preparación del proyecto y de la dirección de obra, gestión de compras y contratación.
- Fondo de contingencias: Fondos reservados para imprevistos o situaciones de emergencia.
- Capital circulante: Capital necesario para la puesta en marcha de la planta, que implica la compra de materias primas y reactivos que aseguren una producción en continuo inicial.

Para el cálculo del coste de los equipos se emplea el método de las capacidades y para la estimación de los costes de las distintas secciones del presupuesto se emplea el método factorial, siguiendo la metodología de la bibliografía.

2. Coste de los equipos

2.1. Valor base

La estimación del precio base de los equipos se realiza aplicando la ecuación 1:

$$C_E = (a + bS^n)f_M f_P f_T \quad (1)$$

Siendo:

C_E = Coste base de un equipo con capacidad conocida S , (\$)

a, b = Constantes características de un equipo determinado

n = Índice característico del tipo de equipo

f_M = Factor de corrección asociado al material de construcción del equipo

f_P = Factor de corrección asociado a la presión de diseño del equipo

f_T = Factor de corrección asociado a la temperatura de diseño del equipo

Los parámetros necesarios para la aplicación de la ecuación 1 están recogidos en las tablas 1-5, presentadas a continuación.

Tabla 1. Capacidad de referencia y constantes de los principales equipos (Sinnott, 2005)

Equipo	Medida de referencia, S	a	b	Rango aplicación	Exponente n
Compresores					
Centrífugos	Potencia (kW)	8400	3100	132 – 29000	0,6
Intercambiadores					
Carcasa y tubos, cabezal flotante	Área (m ²)	11000	88	10 – 1000	1,0
Evaporador Kettle	Área (m ²)	13000	95	10 – 500	1,0
Recipientes a presión					
Vertical	Masa (kg)	-400	230	150 – 69200	0,6
Relleno					
Anillos Pall metálicos	Volumen (m ³)	0	4000	-	1,0

Tabla 2. Factor de corrección de algunos materiales para recipientes (Smith, 2005)

Material	Factor de corrección, f_M
CS	1,0
SS (bajo grado)	2,1
SS (alto grado)	3,2
Hastelloy	3,6
Monel	4,1
Níquel	4,4

Tabla 3. Factor de corrección de material para intercambiadores (Smith, 2005)

Material	Factor de corrección, f_M
CS carcasa y tubos	1,0
CS carcasa, tubos aluminio	1,3
CS carcasa, tubos monel	2,1
CS carcasa, SS tubos	1,7
SS carcasa y tubos	2,9

Tabla 4. Factor de corrección por presión (Smith, 2005)

Presión de diseño (bar)	Factor de corrección, f_P
0,01	2,0
0,1	1,3
0,5 – 7	1,0
50	1,5
100	1,9

Tabla 5. Factor de corrección por temperatura (Smith, 2005)

Temperatura de diseño (°C)	Factor de corrección, f_T
0 – 100	1,0
300	1,6
500	2,1

Como se puede observar en la tabla 1, existe un rango de capacidad máximo y mínimo para poder emplear la ecuación 1. Los equipos de la planta cuya capacidad quedan muy por debajo de esos valores límite constan como costes despreciables.

En la tabla 6 se detallan los parámetros empleados para cada equipo principal. El valor de la columna T-301 y del reactor R-201 corresponde a recipientes a presión verticales en los que se debe añadir el coste del relleno y del catalizador, respectivamente.

Tabla 6. Valores base del coste de los equipos principales

Equipo	Medida	Valor, S	f_M	f_P	f_T	Coste base, C_E
E-101	Área (m ²)	25,23	1,7	1,0	1,6	43.775,92 \$
E-102	Área (m ²)	8,73	1,7	1,0	1,6	40.050,88 \$
V-101	Masa (kg)	14369,30	2,1	1,0	1,6	239.940,02 \$
R-201	Masa (kg)	1521,80	2,1	1,0	1,6	61.386,87 \$
E-301	Área (m ²)	154,65	2,9	1,0	1,6	137.376,48 \$
T-301	Masa (kg)	136,49	1,0	1,0	1,0	3.993,37 \$
E-302	Área (m ²)	5,04	1,0	1,0	1,0	11.579,60 \$
E-303	Área (m ²)	12,96	1,0	1,0	1,0	25.628,66 \$
K-401	Potencia (kW)	93,42	2,1	1,0	1,0	116.687,82 \$
E-401	Área (m ²)	359,97	2,9	1,0	1,6	243.119,99 \$
Relleno	Volumen (m ³)	0,146	-	-	-	584,00 \$

2.2. Actualización del precio base y conversión monetaria

Los valores obtenidos en el apartado anterior deben ser actualizados a un valor monetario actual, teniendo en cuenta la inflación desde la publicación de los datos en la bibliografía. Para ello, se emplea el índice CEPCI desde el año 2006 hasta el año 2017, el más actual encontrado, y se emplea la siguiente expresión:

$$C_{2017} = C_{2006} \frac{I_{2017}}{I_{2006}} \quad (2)$$

Siendo:

C_{2017} = Coste del equipo en el año 2017 (\$)

C_{2006} = Coste del equipo en el año 2006 (\$). Es equivalente a los valores de C_E de la tabla 6.

I_{2017} = índice CEPCI correspondiente al año 2017

I_{2006} = Índice CEPCI correspondiente al año 2006

Tabla 7. Valores CEPCI (Chemical Engineering Essentials for the CPI Professional, 2018)

Año	Índice CEPCI
2006	499,6
2017	567,5

Además, se debe tener en cuenta el cambio monetario, pues los costes obtenidos se obtienen en dólares americanos. La conversión dólar americano-euro, a fecha de 30 de noviembre del 2018, es:

$$€ = 0,88 \$ \quad (3)$$

Aplicando ambos factores de corrección, se obtiene el valor del coste asociado a los equipos de la planta:

Tabla 8. Cálculo de los costes de los equipos actualizados y convertidos a moneda nacional

Equipo	Coste base, C_{2006}	Coste actualizado, C_{2017}	Coste convertido, C_{2017}
E-101	43.775,92 \$	49.725,46 \$	43.758,40 €
E-102	40.050,88 \$	45.494,15 \$	40.034,85 €
V-101	239.940,02 \$	272.549,96 \$	239.843,97 €
R-201	61.386,87 \$	69.729,88 \$	61.362,29 €
E-301	137.376,48 \$	151.713,38 \$	133.507,77 €
T-301	3.993,37 \$	4.536,10 \$	3.991,77 €
E-302	11.579,60 \$	13.153,37 \$	11.574,96 €
E-303	25.628,66 \$	29.111,81 \$	25.618,40 €
K-401	116.687,82 \$	132.546,71 \$	116.641,10 €
E-401	243.119,99 \$	276.162,12 \$	243.022,67 €
Relleno	584,00 \$	663,37 \$	583,77 €
COSTE TOTAL	920.308,37 \$	1.045.386,31 \$	919.939,95 €

3. Cálculo de los presupuestos parciales

Los presupuestos de las diferentes partidas significativas para el cálculo de los costes totales de la instalación se obtienen a partir del coste total de los equipos. Se emplean para ello factores de corrección, denominados factores de instalación, que son específicos de cada partida.

Este método es conocido como el método factorial, y la ecuación que aplica es la siguiente:

$$C_p = f_i \sum_i C_{E,i} \quad (4)$$

Siendo:

C_p = Coste de partida (€)

f_i = Factor de instalación asociado a la partida

$C_{E,i}$ = Coste del equipo i

Los factores de instalación dependen de la fase en la que opere la planta (sólido o fluido). Dado que se emplea únicamente fluidos, gas y líquido, los factores asociados se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 9. Factores de instalación (Smith, 2005)

Partida	Factor de instalación, f_i
Costes directos (CD)	3,4
Coste de equipos	1,0
Instalación de equipos, f_{ER}	0,4
Tuberías, f_{PIP}	0,7
Instrumentación y control, f_{INST}	0,2
Instalación eléctrica, f_{ELEC}	0,1
Utilidades, f_{UTIL}	0,5
Off-site, f_{OS}	0,2
Edificios, f_{BUILD}	0,2
Terreno y acondicionamiento, f_{SP}	0,1
Costes indirectos (CI)	1,4
Diseño, ingeniería y construcción, f_{DEC}	1,0
Fondo de contingencia, f_{CONT}	0,4
Costes fijos totales (CF, CD + CI)	4,8
Capital circulante (CC)	0,7
Capital circulante, f_{WC}	0,7
Capital total (CF+CC)	5,5

El presupuesto requerido para cada partida se desarrolla en los siguientes subapartados.

3.1. Costes directos

3.1.1. Coste de los equipos

Tabla 10. Cálculo del coste total de los equipos

Partida	Descripción	Importe (€)
Coste de los equipos	Coste por capacidad Precio actualizado	919.939,95 €

3.1.2. Instalación de equipos

Tabla 11. Cálculo del coste por la instalación de equipos

Partida	Descripción	Importe (€)
Instalación de equipos	Montaje	367.975,98 €
	Materiales	
	Maquinaria	
	Mano de obra	
	Cimentación	

3.1.3. Tuberías

Tabla 12. Cálculo del coste asociado a las tuberías

Partida	Descripción	Importe (€)
Tuberías	Instalación	643.957,97 €
	Estructuras auxiliares	
	Válvulas y accesorios	
	Aislamiento	
	Recubrimientos	

3.1.4. Instrumentación y control

Tabla 13. Cálculo del coste de los instrumentos de control

Partida	Descripción	Importe (€)
Instrumentación y control	Instalación	183.987,99 €
	Materiales	
	Programación	
	Equipo auxiliar	

3.1.5. Instalación eléctrica**Tabla 14. Cálculo del coste de la instalación eléctrica**

Partida	Descripción	Importe (€)
Instalación eléctrica	Montaje	91.994,00 €
	Materiales	
	Cableado	

3.1.6. Utilidades**Tabla 15. Cálculo del coste de las utilidades**

Partida	Descripción	Importe (€)
Utilidades	Agua de refrigeración	459.969,98 €
	Instalaciones de vapor	
	Instalación de aceite térmico	
	Instalaciones eléctricas	
	Tratamiento de efluente	

3.1.7. Off-site**Tabla 16. Cálculo del coste de los servicios off-site**

Partida	Descripción	Importe (€)
Off-site	Viales internos	183.987,99 €
	Almacenes	
	Protección contra incendios	
	Sistemas de comunicación	
	Vehículos auxiliares	

3.1.8. Edificios**Tabla 17. Cálculo del coste asociado a los edificios de la planta**

Partida	Descripción	Importe (€)
Edificios	Edificio principal	183.987,99 €
	Servicios	

3.1.9. Terreno y acondicionamiento

Tabla 18. Cálculo del coste del terreno y el acondicionamiento

Partida	Descripción	Importe (€)
Terreno y acondicionamiento	Compra de terreno	91.994,00 €
	Excavación	
	Movimiento de tierra	
	Nivelación	
	Limpieza de superficie	

3.2. Costes indirectos

3.2.1. Diseño, ingeniería y construcción

Tabla 19. Cálculo del coste de diseño, ingeniería y construcción

Partida	Descripción	Importe (€)
Diseño, ingeniería y construcción	Salarios	919.939,95 €
	Contratación	
	Tasas de ingeniería	
	Supervisión	

3.2.2. Fondo de contingencia

Tabla 20. Cálculo del coste del fondo de contingencia

Partida	Descripción	Importe (€)
Fondo de contingencia	Emergencias	367.975,98 €
	Gastos imprevistos	

3.3. Capital circulante

Tabla 21. Cálculo del capital circulante inicial

Partida	Descripción	Importe (€)
Capital circulante	Materias primas iniciales	643.957,97 €
	Transporte	
	Crédito inicial	
	Salario inicial	

4. Presupuesto total

A partir de las partidas anteriores, se recoge en la tabla siguiente el presupuesto total de la instalación:

Tabla 22. Cálculo desglosado del presupuesto total

Partida	Importe (€)
A. Costes fijos de inmovilizado totales	4.415.711,78 €
I. Costes directos	3.127.795,84 €
Coste de equipos	919.939,95 €
Instalación de equipos	367.975,98 €
Tuberías	643.957,97 €
Instrumentación y control	183.987,99 €
Instalación eléctrica	91.994,00 €
Utilidades	459.969,98 €
Off-site	183.987,99 €
Edificios	183.987,99 €
Terreno y acondicionamiento	91.994,00 €
II. Costes indirectos	1.287.915,94 €
Diseño, ingeniería y construcción	919.939,95 €
Fondo de contingencia	367.975,98 €
B. Capital circulante	643.957,97 €
Presupuesto total (A + B)	5.059.669,75 €

El presupuesto estimado para la construcción de la planta de producción de γ -butirolactona asciende a la cantidad de CINCO MILLONES CINCUENTA Y NUEVE MIL SEISCIENTOS SESENTA Y NUEVE EUROS CON SETENTA Y CINCO CÉNTIMOS (5.059.669,75 €)

Santiago de Compostela, febrero de 2019

El autor del proyecto,



Fernando José Rodríguez Piñón

5. Referencias

Chemical Engineering Essentials for the CPI Professional. 2018. CEPCI UPDATES: JANUARY 2018 (PRELIM.) AND DECEMBER 2017 (FINAL). [En línea] 19 de Marzo de 2018. [Citado el: 22 de Noviembre de 2018.] <https://www.chemengonline.com/cepci-updates-january-2018-prelim-and-december-2017-final/?printmode=1>.

Sinnott, R.K. 2005. *Chemical Engineering Design*. Oxford : Elsevier, 2005. ISBN 0-7506-6538-6.

Smith, R. 2005. *Chemical Process Design and Integration*. Manchester : John Wiley & Sons, Ltd, 2005. ISBN 0-471-48681-7.